This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

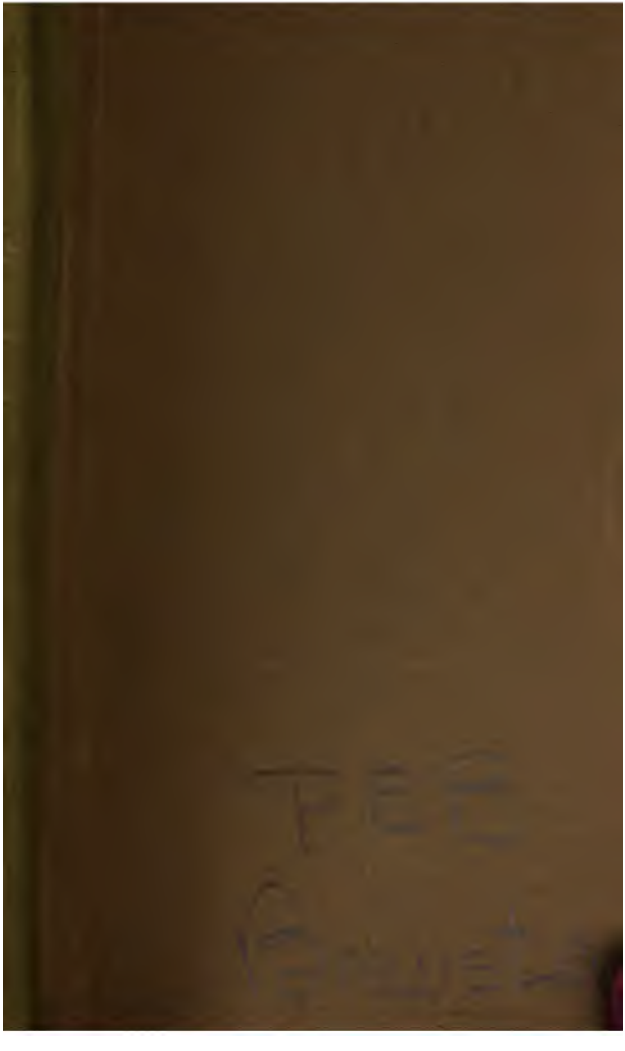
+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

NYPL RESEARCH LIBRARIES
3 3433 06644272 8



PEB
~~63-6~~

MANUEL D'OPTIQUE.

II.

MANUEL
D'OPTIQUE,

OU

TRAITÉ
COMPLET ET SIMPLIFIÉ
DE CETTE SCIENCE ;

PAR M. BREWSTER,

Membre correspondant de l'Institut de France, Membre honoraire de l'Académie impériale de Saint-Pétersbourg, de l'Académie royale des Sciences de Berlin, Stockholm, Copenhague, Gottingue, etc.

TRADUIT PAR M. P. VERGNAUD.

Ouvrage orné d'un grand nombre de figures.

TOME SECOND.

PARIS,

A LA LIBRAIRIE ENCYCLOPÉDIQUE DE RORET,

RUE HAUTEFEUILLE, N° 10 BIS.

1833.

TOR LIBRARY

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LE TOME SECOND.

Pages.

CHAP. XXIII. Du système d'anneaux colorés dans les cristaux à deux axes. . . 1

Intensités de polarisation de quelques cristaux à deux axes. . . 11

CHAP. XXIV. Interférence de la lumière polarisée. — De la cause des couleurs des corps cristallisés. . . 12

CHAP. XXV. De la structure polarisante de l'analcime. 17

CHAP. XXVI. De la polarisation circulaire. . 19

Polarisation circulaire dans les fluides. 26

Cristaux qui tournent les plans de droite à gauche. 27

Cristaux qui tournent les plans de gauche à droite. 27

CHAP. XXVII. De la polarisation elliptique, et de l'action des métaux sur la lumière. 30

De la polarisation elliptique. . . 30

Ordre dans lequel les métaux polarisent le plus de lumière dans le plan de réflexion. 32

Pag

CHAP. XXVIII. De la structure polarisante produite par la chaleur, le froid, la compression, la dilatation et l'induration. . . . . .

1. Influence passagère de la chaleur et du froid. . . . . .

(1) Cylindres de verre à un axe positif de double réfraction. . .

(2) Cylindres de verre à un axe négatif de double réfraction. . .

(3) Plaques ovales à deux axes de double réfraction. . . . .

(4) Cubes de verre à double réfraction. . . . . .

(5) Plaques rectangulaires de verre à plans de non double réfraction.

(6) Sphères de verre, etc., à un nombre infini d'axes de double réfraction. . . . . .

(7) Sphéroïdes de verre à un axe de double réfraction le long de l'axe de révolution, et deux axes le long des diamètres équatoriaux. . . . . .

(8) Influence de la chaleur sur les cristaux réguliers. . . . .

2. De l'influence permanente d'un refroidissement soudain. . .

3. De l'influence de la compression

Pages.

et de la dilatation. 53
4. De l'influence de l'induration. . 55
CHAP. XXIX. Phénomènes des cristaux composés ou à facettes. 57
CHAP. XXX. Du dichroïsme ou double couleur des corps, et de l'absorption de la lumière polarisée. . 63
Couleur des deux images dans les cristaux à un seul axe. . . . 65
Couleur des deux images dans les cristaux à deux axes. . . . 69
Observations générales sur la double réfraction. 72

TROISIÈME PARTIE.

De l'application des principes d'optique à l'explication des phénomènes de la nature.

CHAP. XXXI. De la réfraction extraordinaire. 75
CHAP. XXXII. De l'arc-en-ciel. 87
CHAP. XXXIII. Des halos, couronnes, parélies et parasélènes. 94
CHAP. XXXIV. Des couleurs des corps de la nature 106
CHAP. XXXV. De l'œil et de la vision. . . 116
Phénomènes et lois de la vision. 121
CHAP. XXXVI. Couleurs accidentelles et ombres colorées. 141

MANUEL
D'OPTIQUE.

CHAPITRE XXIII.

Du système d'anneaux colorés dans les cristaux à deux axes.

(118.) On a long-temps cru que tous les cristaux n'avaient qu'un axe de double réfraction, mais après avoir découvert un double système d'anneaux dans la topaze et d'autres minéraux, je trouvai que ces minéraux avaient deux axes de double réfraction et polarisation, et que la possession de deux axes caractérisait le grand nombre des cristaux formés par l'art ou la nature.

Le double système d'anneaux, ou plutôt un des échantillons du double système d'anneaux, dans la topaze, se présenta à moi pendant que je regardais le long de l'axe d'une topaze qui réfléchissait une partie de la lumière du ciel qui se trouvait polarisée, de sorte qu'on les voyait sans l'aide d'une plaque d'analyse ou de polarisation. Cependant, dans ce minéral et dans plusieurs autres, les axes de double réfraction sont tellement inclinés, qu'on ne peut

voir à la fois les deux systèmes d'anneaux. Je vais donc expliquer ceux que donne le *nitre* dans lequel je les ai aussi découverts, et qui m'a servi à analyser plusieurs de leurs propriétés.

Le *nitre* ou *salpêtre* est une substance artificielle qui cristallise en prismes à six pans et à angles de près de 120°. Il appartient au système prismatique de Mohs, et a par conséquent deux axes de double réfraction le long desquels le faisceau de lumiere n'est pas divisé en deux. Les axes sont inclinés chacun de 2° 1/2 par rapport à l'axe du prisme, et de 5o° environ entre eux. Si l'on coupe un morceau d'un prisme de nitre avec un couteau frappé par un marteau, et qu'on polisse deux surfaces plates perpendiculaires à l'axe du prisme, de manière à laisser une épaisseur du sixième ou du huitième d'un pouce (4 mill. 23 ou 3 millim. 17), et qu'on transmette la lumière polarisée *rs* (fig. 94) le long de l'axe du prisme, en tenant le cristal aussi près que possible de la plaque B, d'un côté, et de l'autre aussi près que possible de l'œil, on voit le double système d'anneaux AB (fig. 100), lorsque le plan qui passe au travers des axes du nitre, est dans le plan de polarisation primitive, ou dans le plan de réflexion *rs*F (fig. 94); et celui de la figure 101, lorsque le même plan est incliné de 45° par rapport à l'un de ces plans. En passant de la figure 100 à la figure 101, les lignes noires prennent les formes des figures 102 et 103.

Les systèmes d'anneaux ont, généralement par-

lant, les mêmes couleurs que celles des plaques minces ou que les systèmes d'anneaux autour d'un seul axe. Les couleurs commencent aux centres A et B de chaque système, mais à une certaine distance qui, dans la figure 100, répond au sixième anneau, les anneaux, au lieu de retourner et d'entourer les pôles A et B, entourent les deux pôles, comme une ellipse entoure ses deux foyers.

A mesuse que l'on diminue l'épaisseur de la plaque de nître, les anneaux augmentent, et le cinquième anneau entoure les deux pôles. A une moindre épaisseur, le quatrième les entoure, et ainsi de suite jusqu'à ce qu'enfin les anneaux entourent les deux pôles, et le système ressemble beaucoup à celui qui n'entoure qu'un axe. La place des pôles A, B ne change jamais, mais les lignes noires AB, CD deviennent larges et indéfinies, jusqu'à ce qu'enfin tout le système soit distingué du simple système, principalement par l'apparence ovale des anneaux.

Si l'on augmente l'épaisseur du nître, les anneaux diminuent de grandeur, les teintes perdent leur ressemblance avec celles de la table de Newton, et ne commencent pas aux pôles A et B, mais à des pôles virtuels près d'eux. La couleur des anneaux est *rouge* en dedans des pôles, et *bleu* en dehors; la grande masse des anneaux est rose et verte.

Comme la même couleur existe dans chaque partie de la même ligne courbe, on a appelé ces courbes lignes *isochromatiques* ou de *teintes égales*. Les lignes ou axes le long desquelles il n'y a point de double

réfraction ou polarisation, et dont les pôles sont A, B (fig. 100) s'appellent *axes optiques*, *axes de non polarisation*, *axes de compensation* ou *axes résultans*, parce que ce ne sont point des axes véritables, mais des lignes le long desquelles les effets contraires des deux axes se sont composés ou détruits.

(119.) Dans divers corps cristallisés, comme le *nitre* et *l'arragonite*, où l'inclinaison des *axes résultans* A, B (fig. 100) est petite, les deux systèmes d'anneaux peuvent se voir en même temps; mais lorsque l'inclinaison de ces axes est grande, comme dans la *topaze*, le *sulfate de fer*, etc., on ne peut voir qu'un des systèmes, ce qu'on peut faire très-bien, en broyant et polissant deux faces parallèles, perpendiculaires à l'axe des anneaux. Dans le *mica* et la *topaze*, et divers autres cristaux, le plan de la fente, clivage, la plus éminente est également incliné par rapport aux deux axes résultans, de sorte que dans ces corps on peut trouver et montrer facilement les deux systèmes d'anneaux.

Soit, par exemple, MN (fig. 104) une plaque de topaze coupée ou fendue de manière à ce que sa face soit perpendiculaire à l'axe du prisme qui cristallise ce corps. Si l'on place la plaque de la figure 104 dans l'appareil de la figure 94, de manière à ce que le rayon *rs* (fig. 94) passe le long de la ligne ARsE (fig. 104), et si l'œil reçoit ce rayon lorsqu'il est réfléchi par la plaque d'analyse B, il voit dans la direction de ce rayon un système d'anneaux ovales, comme dans la figure 105. De la même manière, si la lu-

mière polarisée est transmise le long de la ligne CB*d*D, l'œil voit un autre système parfaitement semblable au premier. Les lignes CB*d*D et ABeE, sont donc les axes résultans de la topaze. On trouvera que l'angle ABC est de près de 121° 16'; mais si l'on calcule l'inclinaison des rayons réfractés B*d*, B*e*, on trouve que cette inclinaison ou l'angle ABC ou *d*BE n'est que de 65°, qui est par conséquent l'inclinaison des axes *optiques ou résultans* de la topaze.

Si l'on suppose que la plaque de nitre soit fixée dans une quelconque des positions qui donnent les anneaux de la figure 100, 101, 102 ou 103; et si alors l'on tourne la plaque B, on observe aux azimuts de 90° et 270°, un système d'anneaux complémentaires l'un à l'autre, dans lequel la croix noire de la figure 100 et les courbes hyperboliques noires des figures 101 et 103 sont blanches et toutes les autres parties sombres, le *rouge vert*, le *vert rouge*, etc., comme dans le système d'anneaux à un seul axe.

Dans les observations précédentes nous avons supposé que la polarisation de la lumière incidente, et l'analyse de la lumière transmise fussent nécessaires pour produire les anneaux; mais dans certains cas, ils peuvent être produits par la lumière ordinaire, avec les plaques d'analyse, ou par la lumière polarisée sans la plaque d'analyse B, et même quelquefois sans que la lumière soit analysée ou polarisée. Si, par exemple, dans la topaze de la figure 104 on laisse tomber la lumière ordinaire dans la direction AB, de manière à être réfractée le long de B*e*

un des axes résultans, réfléchie à *e* par la seconde surface, et à venir à l'œil en *c'*; on voit, après sa réflexion par la plaque d'analyse, le système d'anneaux de la figure 105; si le faisceau AB est polarisé, on voit à *c* les anneaux sans plaque d'analyse. Il y a plusieurs autres phénomènes curieux vus dans cette circonstance, que j'ai décrits dans les *Transactions philosophiques* de 1814, pages 203 à 211.

J'ai trouvé plusieurs cristaux de nître qui donnent leurs anneaux sans lumière polarisée ou plaque d'analyse, et M. Herschel a trouvé la même propriété dans quelques cristaux de carbonate de potasse.

(120.) Lorsqu'on voit ces phénomènes dans la lumière polarisée *homogène*, au lieu de les voir dans la lumière blanche, les anneaux sont des courbes brillantes, séparées par des intervalles sombres; les courbes sont toujours de la couleur de la lumière dont on se sert. Dans plusieurs cristaux, la différence de grandeur des anneaux, vus dans différentes couleurs, n'est pas très-grande, et les pôles A, B des deux systèmes, ne changent pas beaucoup de place; mais M. Herschel trouva qu'il y avait des cristaux, comme la *soude* et le *tartrate de potasse*, dans lesquels la variation de grandeur des anneaux était énorme, les plus grands anneaux étant dans le rouge, et les plus petits dans le violet, et dans lesquels la distance AB des figures 100, 101, ou l'inclinaison des axes résultans, varie de 56°, pour le violet, à 76° pour le rouge, l'inclinaison ayant des valeurs intermédiaires

pour les couleurs intermédiaires, et les centres de tous les systèmes différens étant dans la ligne AB. Lorsque tous ces systèmes d'anneaux sont combinés, comme dans la lumière blanche, le système qu'ils forment est fort irrégulier; les deux centres ovales, ou les moitiés du premier ordre de couleurs, étant en longs spectres ou *queues* composées de rouge, de vert et de violet, et les extrémités de tous les autres anneaux étant rouges en dehors des axes résultans, et bleues en dedans.

M. Herschel trouva d'autres cristaux dans lesquels les anneaux les plus petits étaient dans le rouge et les plus grands dans le violet; AB, inclinaison des deux axes, était à son minimum dans le rouge, et à son maximum dans le violet.

Dans tous les cristaux de cette sorte, la déviation des teintes ou couleurs des anneaux vus dans la lumière blanche de la table de Newton, est très-considérable, et peut se calculer d'après les principes précédens. J'ai trouvé que cette déviation est très-grande, même dans les cristaux à un seul axe de double réfraction et à un seul système d'anneaux, comme l'*apophyllite*, où les anneaux n'ont presque d'autres teintes qu'une série de jaune verdâtre et de violet rougeâtre. En regardant ces anneaux dans la lumière homogène, M. Herschel a trouvé que ce système est négatif pour les rayons d'une extrémité du spectre, positif pour ceux de l'autre extrémité, et qu'il n'y a point d'anneaux dans la lumière jaune.

J'ai trouvé une anomalie semblable et également curieuse dans la glauberite, cristal qui a deux axes

de double réfraction ou deux systèmes d'anneaux pour la lumière rouge, et un système négatif pour le violet.

(121) Toute la singularité de ces phénomènes disparaît et peut être rigoureusement calculée, en supposant que les axes résultans, dans les cristaux qui ont deux axes, ou le seul axe dans ceux qui n'en ont qu'un, avec un système d'anneaux déviant de la table de Newton, soient des axes seulement apparens ou axes de compensation, produits par l'action opposée de deux ou plusieurs axes rectangulaires dont le principal est la ligne qui bissecte l'angle formé par les deux axes résultans. D'après ce principe, j'ai prouvé qu'on peut calculer les phénomènes de ces cristaux avec autant de précision que les mouvemens des corps célestes.

On peut comprendre la méthode d'opérer par les observations suivantes : soit ABCD (fig. 106) un cristal sphérique à deux axes. Soient P, P les pôles des axes, O le point qui les bissecte, et AB une ligne qui passe par O et qui est perpendiculaire à CD, ligne qui passe par P, P. Supposons qu'un axe perpendiculaire au plan ABCD, passe par O, on peut expliquer tous les phénomènes de ces cristaux en supposant que l'axe qui passe par O soit l'axe principal, et que l'autre axe soit le long des diamètres AB ou CD. Si l'on prend CD, alors l'axe O et CD doivent être, tous les deux, ou positifs ou négatifs; mais si l'on prend AB, l'un doit être positif et l'autre négatif; ou ce qui vaut peut-être mieux,

comme explication, supposons les axes rectangulaires qui produisent tous les phénomènes, AB, CD, tous deux positifs ou négatifs, et laissons de côté l'axe *o* O. Soient AOB; CPPD des projections de grands cercles de la sphère; P, P sont les points où l'axe AB détruit l'effet de CD, c'est-à-dire, où les teintes produites par chaque axe sont égales et opposées. Or, si l'on suppose que l'axe CP soit de 60°, alors, puisque AP est de 90°, l'axe CD produit à 60° la même teinte que AB à 90°; donc l'intensité de polarisation de CD est à celle de AB comme le carré du sinus de 90° est à celui de 60°, ou comme 1 est à 0, 75, ou comme 100 est à 75. La face de polarisation de chaque axe étant ainsi déterminée, il est facile de trouver, par la méthode donnée précédemment, la teinte produite séparément par chaque axe, à une inclinaison donnée de l'axe.

Soit E, un point de la surface de la sphère, et que les teintes produites à ce point soient 9, ou le bleu du second ordre, par CD; et 16 ou le vert du troisième ordre par AB. Supposons que l'inclinaison des plans qui passent par AE, CE, ou l'angle sphérique CEA, soit déterminé. la teinte du point E est égale à la diagonale d'un parallélogramme, dont les côtés sont 9 et 16, et dont l'angle est double de CEA. Cette loi, qui est générale et peut s'appliquer à la double refraction, a été confirmée par MM. Biot et Fresnel, et ce dernier a prouvé qu'elle coïncide entièrement avec la loi déduite de la théorie des ondulations.

Si les axes AB, CD sont égaux, ils produisent la même teinte à des inclinaisons égales ; c'est-à-dire qu'ils se compensent à un seul point O, et produisent autour de O, le même système d'anneaux colorés, que si O était un arc de double réfraction, d'une propriété opposée à AB, CD. Si l'axe AB a exactement la même action proportionnelle que CD sur chacun des rayons, différemment colorés, une compensation pour chaque couleur a lieu exactement à O, centre des systèmes résultans, et les couleurs sont exactement celles de la table de Newton. Mais si chaque axe exerce une action différente, proportionnelle sur les rayons colorés, une compensation a lieu à O, pour quelques rayons, le violet, par exemple, tandis que la compensation du rouge a lieu de chaque côté de O; donc, dans ce cas, le cristal a un axe pour le violet, et deux pour le rouge, comme dans la glaubérite.

On peut expliquer le phénomène de l'apophyllite de la même manière, par deux axes négatifs égaux AB, CD, et un positif O.

D'après cette méthode de combiner l'action de différens axes rectangulaires, il suit que trois axes égaux et rectangulaires, ou tous positifs, ou tous négatifs, se détruisent mutuellement à chaque point de la sphere, et produisent le même effet que si le cristal n'avait ni double réfraction, ni polarisation. C'est d'après ce principe que j'ai expliqué l'absence de double réfraction dans tous les cristaux du système tessulaire de Mons, chacune de leurs formes primitives ayant trois axes rectangulaires et semblablement

situés. Si l'un de ces axes n'est pas entièrement égal à l'autre, et que la cristallisation ne soit pas parfaitement uniforme, on voit des traces de double réfraction, ce qui arrive dans le muriate de soude, le diamant et dans d'autres corps cristallisés.

(122.) La table suivante contient les intensités de polarisation de quelques cristaux à deux axes, données par M. Herschel :

INTENSITÉ DE POLARISATION

DE QUELQUES CRISTAUX A DEUX AXES.

CRISTAUX.	Incl naison des axes.	Valeur de la plus haute teinte	EPAISSEURS qui produisent la même teinte. de pouce millim
Nitre. . . .		7400	0,000133(0,00337)
Anhydrite. .	43° 48'	1900	0,000526(0,01375)
Mica. . . .	45 30	1307	0,000761(0,01912)
Sulfate de barite.		521	
Heulandite (blanche. . .	64° 17'	249	0,001920(0,04800 0,004021(0,10052)

CHAPITRE XXIV.

De l'interférence de la lumière polarisée, et de la cause des couleurs des corps cristallisés.

(123.) Ayant décrit les phénomènes principaux des couleurs des corps cristallisés régulièrement, qui possèdent un ou deux axes de double réfraction, nous allons expliquer la cause de ces phénomènes remarquables.

Le docteur Young eut le grand mérite d'appliquer la doctrine de l'interférence à l'explication des couleurs produites par la double réfraction. Lorsqu'un faisceau de lumière tombe sur une plaque mince d'un cristal double réfracteur, il est divisé en deux faisceaux qui se meuvent dans la plaque, avec des vélocités différentes qui correspondent aux mesures de réfraction du rayon ordinaire et extraordinaire. Dans le spath calcaire, le rayon ordinaire se meut avec plus de vélocité que le rayon extraordinaire; ils doivent donc interférer l'un avec l'autre et produire dans la lumière homogène des anneaux alternativement sombres et brillans, autour de l'axe de double réfraction. Cependant, suivant cette doctrine, cela devrait avoir lieu dans la lumière ordinaire et dans la lumière polarisée, et, comme il n'en est rien, on négligea long-temps l'ingénieuse hypothèse du docteur Young. Enfin MM. Fresnel et Arago s'occupèrent de ce sujet avec une grande adresse, et réussirent à prouver que la production des anneaux dépend

de la polarisation du faisceau incident, et de son analyse subséquente par une plaque réflective ou un prisme double réfracteur.

Voici les lois de l'interférence de la lumière polarisée, établies par MM. Fresnel et Arago;

1. *Lorsque deux rayons polarisés dans le même plan, interfèrent l'un avec l'autre, ils produisent par leur interférence des franges de la même nature que s'ils étaient de la lumière ordinaire.*

On peut prouver cette loi, en répétant les expériences du chapitre X, sur la réflexion de la lumière, dans la lumière polarisée au lieu de lumière ordinaire; on trouvera que les mêmes franges sont produites dans les deux cas.

2. *Lorsque deux rayons sont polarisés à angles droits l'un à l'autre, ils ne produisent pas de franges colorées dans les circonstances dans lesquelles deux rayons de lumière ordinaire les produiraient. Lorsque les rayons sont polarisés à des angles intermédiaires entre* 0° *et* 90°, *ils produisent des franges d'un éclat intermédiaire, les franges s'effaçant à* 90°, *et reprenant leur grand éclat à* 0°; *comme dans dans la première loi.*

Pour prouver cette loi, MM. Fresnel et Arago employèrent divers moyens; le plus simple, inventé par ce dernier, est le suivant. Ayant fait *deux* petites fentes dans une mince plaque de cuivre, il plaça la plaque de cuivre derrière le foyer F d'une lentille, comme dans la fig. 56, et reçut l'ombre du cuivre sur un écran CD, où l'on voyait les franges produites par l'interférence de la lumière

qui passait au travers des deux fentes. Cependant, pour bien observer les franges, il les regarda avec une lorgnette comme nous l'avons décrit précédemment. Il prépara ensuite un paquet de plaques transparentes, comme A ou B, (fig. 93), composées de quinze plaques minces de mica, ou de verre plane, et il divisa ce paquet en deux avec un instrument tranchant. A la ligne de division, ces paquets avaient, autant que possible, la même épaisseur, et pouvaient polariser complétement la lumière incidente à un angle de 30°. Les paquets étaient placés devant les fentes, de manière à recevoir et transmettre les rayons du foyer F, à une incidence de 30° et au travers des portions de mica, qui, dans chaque paquet, étaient très-près l'une de l'autre avant leur séparation. Les paquets étaient placés sur des axes, de sorte qu'en tournant l'un ou l'autre paquet, on pouvait rendre leurs plans de polarisation parallèles, perpendiculaires, ou inclinés à tout angle intermédiaire. Lorsque les paquets étaient placés de manière à polariser les rayons dans des plans parallèles, les fentes donnaient les mêmes franges que lorsqu'on ôtait les paquets; mais les franges disparaissaient lorsque les rayons étaient polarisés à 90° ou perpendiculairement l'un à l'autre. Dans toutes les positions intermédiaires, les franges avaient un éclat intermédiaire.

3. *Deux rayons primitivement polarisés perpendiculairement l'un à l'autre, peuvent être ensuite placés dans le même plan de polarisation, sans ac-*

quérir la faculté de former des franges par leur interférence.

Si, dans l'expérience précédente, on place un cristal double réfracteur entre l'œil et les fentes de cuivre, et que sa section principale soit inclinée de 45° par rapport à l'un des plans de polarisation des rayons interférens, chaque faisceau est séparé en deux faisceaux égaux, polarisés dans deux plans rectangulaires, dont l'un est la section principale. On devrait donc voir deux systèmes de franges, l'un produit par l'interférence du rayon ordinaire de la fente droite avec celui de la fente gauche, l'autre par l'interférence du rayon extraordinaire de la fente droite avec celui de la gauche, mais on ne voit pas ces franges.

4. *Deux rayons polarisés perpendiculairement l'un à l'autre, et amenés ensuite dans des plans de polarisation semblables, produisent des franges par leur interférence comme les rayons ordinaires, pourvu qu'ils appartiennent à un faisceau polarisé primitivement dans le même plan.*

5. *Dans les phénomènes de l'interférence produits par des rayons qui ont éprouvé la double réfraction, il faut accorder une différence d'une demi-ondulation, parce qu'un des faisceaux est retardé de cette quantité par une cause inconnue.*

La seconde de ces lois explique directement le fait qui embarrassait le docteur Young, qu'on ne voit aucune frange lorsque la lumière est transmise au travers d'une plaque mince qui possède la double réfraction. Les deux faisceaux ainsi produits, ne

donnent pas de franges par leur interférence, *parce qu'ils sont polarisés dans des plans opposés.*

La production des franges, par l'action des cristaux doubles réfracteurs sur la lumière polarisée, peut être ainsi expliquée. Soit MN (fig. 107), une section de la plaque de sulfate de chaux CDEF (fig. 94) et B, la plaque d'analyse, soit R*r*, un rayon polarisé incident sur la plaque MN, et soit O et E, les rayons ordinaires et extraordinaires, produits par la double réfraction de la plaque MN. Lorsque la plaque MN est placée de telle manière que l'un de ses axes neutres CD, EF (fig. 94) sont dans le plan de polarisation primitive du rayon R*r* (fig. 107), un des faisceaux n'est pas réfléchi par la plaque B, donc il n'y en a qu'un de réfléchi. Ainsi, il n'y a point de couleurs produites par leur interférence, puisqu'il n'y a qu'un rayon. Mais, dans toute autre position de la plaque MN, les rayons O*s*, E*s* sont réfléchis par la plaque B; et étant polarisés par la même plaque dans le même plan, ils interfèrent d'après la loi, et produisent une couleur ou frange correspondant au retard d'un des rayons au dedans de la plaque, ce qui provient de leur différence de vitesse. Si l'on appelle *d* l'intervalle du retard dans la plaque MN, il faut y ajouter une demi-ondulation pour avoir le véritable intervalle, parce qu'un des rayons passe de l'état ordinaire à l'état extraordinaire. Si l'on suppose que la plaque B fasse une révolution de 90°, MN restant fixe, le rayon E est réduit à l'état ordinaire; il faut retrancher une demi-ondulation de *d*, intervalle de retard dans

la plaque, pour avoir la vraie différence des intervalles de retard. Ainsi, les deux intervalles de retard diffèrent d'une ondulation entière, et par conséquent, la couleur produite lorsque la plaque B a tourné jusqu'à 90°, est complémentaire à celle produite lorsque la plaque B est dans la position de la fig. 107.

Si les rayons E et O sont reçus et analysés par une plaque de spath d'Islande, on obtiendra deux rayons ordinaires, dont l'interférence produit les couleurs d'une image, et deux extraordinaires dont l'interférence forme les couleurs complémentaires de l'autre image.

CHAPITRE XXV.

De la structure polarisante de l'analcime.

(124.) Dans un chapitre précédent, j'ai parlé de la double réfraction remarquable que possède l'analcime. Ce minéral, appelé aussi *cubizite*, a été regardé par les minéralogistes comme ayant le cube pour forme primitive : mais si cela était vrai, il n'eut pas donné de double réfraction. L'analcime n'a point de clivage plane, et doit être regardé comme formant, sous ce rapport, une anomalie aussi grande dans la crystalographie que dans l'optique, à cause de ses phénomènes extraordinaires.

La forme la plus ordinaire de l'analcime est le solide appelé *icositétraedre*, qui est borné par 24 trapèzes égaux et semblables ; on peut le regarder comme dérivé du cube, en coupant chacun de ses

angles par trois plans également inclinés, par rapport aux trois faces qui comprennent l'angle solide. Si l'on suppose que le cube est coupé par des plans qui passent par les douze diagonales des six faces, chacun de ces plans est un plan sans double réfraction ou polarisation ; c'est-à-dire qu'un rayon de lumière polarisé, transmis dans une direction quelconque, pourvu que ce soit dans un de ces plans, ne donne aucune teinte polarisée, lorsque le cristal est dans l'appareil de la fig. 94. Les plans, sans double réfraction, sont marqués par des lignes noires dans les fig. 108 et 109. Si le rayon polarisé tombe dans toute autre direction hors de ces plans, il est divisé en deux faisceaux, donnant les plus belles teintes, qui toutes se rapportent aux plans sans double réfraction. La double réfraction est assez grande pour séparer distinctement les images, lorsque le rayon incident passe par deux quelconques des quatre plans adjacens aux trois axes du solide, ou du cube dont il dérive. L'image réfractée la dernière est l'image extraordinaire, et par conséquent, la double réfraction est négative par rapport aux axes perpendiculaires au rayon doublement réfracté.

Dans tous les autres cristaux doubles réfracteurs, chaque molécule a la même force de double réfraction, mais dans l'analcime, la double réfraction de la molécule varie suivant le carré de sa distance aux plans que nous avons décrits.

La belle distribution de teintes des fig. 108 et 109, ne peut se présenter à la fois, mais on les obtient en

transmettant de la lumière polarisée dans chaque direction, au travers du minéral.

Dans plusieurs cristaux, les teintes s'élèvent au troisième et quatrième ordres, mais lorsque les cristaux sont très-petits, les teintes ne dépassent pas le blanc du premier ordre. Les teintes sont celles de la table de Newton, ce qui prouve qu'elles ne sont pas produites par une action opposée et dissemblable. Dans les fig. 108 et 109, les teintes sont représentées par des lignes légèrement ombrées, qui partent des plans où la double réfraction disparaît.

Cette propriété de l'analcime est un caractère minéralogique, simple et facile à appliquer, qui distinguerait le morceau le plus informe de ce minéral.

L'abbé Hauy fut le premier qui observa que ce minéral ne donnait point d'électricité par frottement, et il lui donna le nom d'analcime à cause de la privation de cette propriété. Lorsqu'on considère que le cristal est intersecté par des plans nombreux où l'éther n'existe point, ou qu'il a ses propriétés neutralisées par des actions opposées, on peut attribuer à cette cause la difficulté avec laquelle le frottement décompose la quantité naturelle d'électricité contenue dans le minéral.

CHAPITRE XXVI.

De la polarisation circulaire.

(125.) Dans tous les cristaux à un seul axe, il n'y a ni double réfraction, ni polarisation le long de

l'axe, ce qui est indiqué dans le système d'anneaux, par l'absence de toute lumière aux centres des anneaux, aux intersections de la croix noire. Cependant, lorsqu'on examine le système d'anneaux produit par une plaque de cristal de roche, dont les faces sont perpendiculaires à l'axe, on trouve que la croix noire est effacée dans l'anneau intérieur, qui se compose d'une teinte uniforme de rouge, de vert, ou de bleu, suivant l'épaisseur de la plaque. Cet effet est représenté dans la figure 110. M. Arago observa le premier ces couleurs en 1811. Il trouva que, lorsqu'elles étaient analysées par un prisme de spath d'Islande, les deux images avaient des couleurs complémentaires, et que les couleurs changeaient et descendaient dans la table de Newton, à mesure qu'on tournait le prisme; de sorte que si l'image extraordinaire était rouge, elle devenait successivement *orangée, jaune, verte et violette.* Il conclut de ce résultat, que les rayons différemment colorés, avaient été polarisés dans des plans différens en passant le long de l'axe du cristal de roche. M. Biot s'occupa alors de ce sujet avec beaucoup d'adresse et de succès.

Soit CDEF, (*fig.* 94,) la plaque de quartz le long de l'axe de laquelle on fait passer un rayon polarisé *r s*. Si l'on place l'œil en E, au-dessus de la plaque d'analyse fixée comme dans la figure, on voit par exemple, un espace rouge circulaire au centre des anneaux. Si l'on tourne le quartz autour de son axe, il n'y a point de changement, mais si l'on tourne

la plaque C, de droite à gauche sous un angle de 100°, par exemple, on voit le *rouge* passer à *l'orangé*, au *jaune*, au *vert* et au *violet*, ce dernier ayant une teinte d'un pourpre foncé. Si l'on coupe dans le même prisme de cristal de roche, une plaque du double d'épaisseur, et qu'on la place dans l'appareil, en laissant la plaque B où elle était, on trouve que sa teinte est différente de celle de la première plaque; mais en tournant la plaque B, 100° plus loin, on obtient la teinte à son moindre éclat, c'est-à-dire, un violet sombre. Avec une plaque trois fois aussi épaisse, on obtient le moindre éclat, en tournant la plaque B, 100° plus loin, et ainsi de suite jusqu'à ce que, l'épaisseur étant très-grande, la plaque B ait fait plusieurs révolutions complètes. Or, il peut arriver qu'on ait pris une épaisseur telle que la rotation de B qui produirait le violet sombre, serait de 360°, ou s'arrêterait au point 0°, où elle commença, ce qui embarrasserait l'observateur, s'il n'avait pas fait la suite d'expériences que nous avons décrites.

On comprendra mieux ces phénomènes, en supposant qu'on prenne une plaque de quartz, épaisse de 1/25 de pouces (1 millimètre, 0140), et qu'on se serve successivement des différens rayons homogènes. Commençant par le *rouge*, on trouve que le rouge du centre des anneaux est à son maximum d'éclat lorsque la plaque B est à 0° d'azimuts, comme dans la figure 94. Si l'on tourne B de droite à gauche, la teinte rouge augmente, et à 17° 1/2

elle disparaît, ayant atteint son maximum, avec une plaque épaisse de 2/25 de pouce (2 millimètres, 028), le rouge disparaît à 35°, chaque épaisseur additionnelle d'un 25e de pouce (1 millimètre 014), demandant une rotation additionnelle de 17° 1/2. Si la lumière est violette, la même épaisseur, d'un 25e de pouce (1 millimètre, 014) demande une rotation de 41° pour disparaître, chaque millimètre d'épaisseur additionnelle demande une rotation de 41° de plus.

(126.) Les rotations pour différentes couleurs correspondant à 1 millimètre ou 1/25 de pouce de quartz, sont celles-ci :

RAYON HOMOGÈNE.	Axes de rotation.
1. Rouge extrême.	17° 50'
2. Rouge moyen.	19 00
3. Limite du rouge et de l'orangé.	20 50
4. Orangé moyen.	21 40
5. Limite du vert et du bleu. . .	30 05
6. Bleu moyen.	32 31
7. Limite du bleu et de l'indigo. .	34 57
8. Indigo moyen.	36 13
9. Limite de l'orangé et du jaune.	22 31
10. Jaune moyen.	24 00
11. Limite du jaune et du vert. .	25 68
12. Vert moyen.	27 86
13. Limite de l'indigo et du violet.	37 68
14. Violet moyen.	40 88
15. Violet extrême.	44 08

En examinant divers échantillons de quartz, M. Biot trouva que dans plusieurs on produisait les mêmes phénomènes en tournant la plaque B de gauche à droite. Ainsi, d'après cette propriété, on peut diviser le quartz en *droite* et *gauche*.

D'après ces faits intéressans, il suit, qu'en passant le long de l'axe du quartz, la lumière polarisée se conduit à sa sortie du cristal, comme si les plans de polarisation tournaient dans la direction d'une spirale placée dans le cristal, dans quelques échantillons de droite à gauche, et dans d'autres de gauche à droite. «Pour comprendre cette distinction, »dit M. Herschel, « que le lecteur prenne un tire-bouchon, et en plaçant *la tête vers lui*, qu'il le tourne comme pour déboucher une bouteille. La tête tourne de la même manière que le plan de polarisation d'un rayon, l'orsqu'il passe, à partir du spectateur, au travers d'un cristal *droit*. Si la tête du tire-bouchon était renversée, où ce qu'on appelle une tête de gauche, le mouvement de la tête, à mesure que l'instrument avance, représente celui du plan de polarisation dans un échantillon de cristal de roche *gauche*. »

Du caractère opposé de ces deux variétés de quartz, il suit que si l'on combine une plaque de quartz droit avec une plaque de quartz gauche, le résultat de la combinaison, est celui de la plaque la plus épaisse des deux, dont l'épaisseur serait égale à la différence des deux épaisseurs. Ainsi si une plaque de quartz droit, épaisse d'un millimètre, est combinée avec une plaque de quartz gauche, épaisse de quatre

millimètres, on voit les mêmes couleurs qu'avec une plaque de quartz gauche épaisse de trois millimètres. Lorsque les épaisseurs sont égales, les plaques détruisent mutuellement leurs effets, et l'on voit distinctement le système d'anneaux avec la croix noire.

(127.) En examinant les phénomènes de la polarisation circulaire dans l'améthyste, je trouvai que le même échantillon avait le pouvoir de tourner les plans de polarisation de droite à gauche, et de gauche à droite, et se composait de couches alternatives de quartz droit et gauche, dont les plans étaient parallèles à l'axe du prisme de double réfraction. En coupant une plaque perpendiculaire à l'axe de la pyramide, on traverse ces couches, comme dans la figure 111, où elles donnent des sections des couches qui sont opposées aux trois faces alternées de la pyramide à 16 pans. Les lignes ombrées sont celles qui tournent les plans de polarisation de droite à gauche, et les lignes intermédiaires non ombrées, ainsi que les trois secteurs non ombrés, les tournent de gauche à droite; les couches ne sont pas unies comme les parties de certains cristaux composés, dont les faces dissemblables se touchent mécaniquement, car les couches droites et gauches se détruisent à la ligne intermédiaire entr'elles, et chaque couche est à son maximum de polarisation à cette ligne intermédiaire, la force de polarisation diminuant graduellement jusqu'aux lignes de jonction.

Dans quelques échantillons d'améthyste, l'épais-

seur de ces couches est si petite que l'action de la couche de quartz droit, s'étend presque jusqu'à la ligne centrale de la couche de quartz gauche, et réciproquement, de manière à se détruire, c'est pourquoi dans ces échantillons, les teintes de la polarisation circulaire influent très-peu sur le système d'anneaux colorés à la croix noire. Ainsi une plaque d'améthyste, épaisse d'un millimètre dans la direction de l'axe, peut être assez mince dans la direction perpendiculaire à l'axe pour que l'axe de rotation du rayon rouge soit à 0°; et on voit les phénomènes produits par une plaque qui ne polarise circulairement que les rayons les plus réfrangibles du spectre. Avec une épaisseur plus petite dans les couches, la plaque ne pourrait polariser circulairement les rayons jaunes, et à une moindre épaisseur, elle n'aurait point d'effet sur le violet. Les faibles actions peuvent cependant être visibles à de grandes épaisseurs du minéral.

On peut donc conclure que les axes de rotation de l'améthyste varient depuis 0° jusqu'à chacun des nombres de la table précédente, suivant l'épaisseur des couches.

Je trouvai que la matière colorante de l'améthyste était répartie curieusement par rapport à ces phénomènes; mais il faut renvoyer au mémoire original (1) pour une meilleure information.

---

(1) *Transactions d'Edimbourg*, vol. IX, page 139.

M. Biot a soutenu que cette propriété remarquable du quartz résidait dans ses dernières molécules, et les accompagne dans toutes leurs combinaisons. Je ne l'ai point trouvé cependant dans l'opale, le tabasheer, et d'autres corps siliceux ; elle disparait dans le quartz fondu. M. Herschel a trouvé qu'elle n'existait pas dans une solution de silex dans de la potasse.

Jusqu'à présent, on n'avait pu découvrir aucun rapprochement entre le quartz droit et le gauche, et la forme cristalline des échantillons qui possédaient ces propriétés. M. Herschel, cependant, découvrit que le quartz plagiédre, qui possède des faces non symétriques x, x, x, (fig. 112), tourne les plans de polarisation dans la direction suivant laquelle ces faces s'appuient contre les sommets Axx, axx.

POLARISATION CIRCULAIRE DANS LES FLUIDES.

(128.) La propriété remarquable de polariser de la lumière circulairement, existe à un faible degré dans quelques fluides, et y fut découverte par M. Biot et le docteur Seebeck. M. Herschel l'a trouvé dans le camphre à l'état solide, et je l'ai découverte dans plusieurs échantillons de verre non huilé. Si l'on prend un tube long de six à sept pouces (152 à 177 millimètres), qu'on le remplisse d'huile de térébenthine, et qu'on le place dans l'appareil de la figure 94, de sorte que la lumière polarisée et transmise par l'huile soit réfléchie vers l'œil par la plaque C, on observe les couleurs complémentaires et une rotation distincte du plan de polarisation de

droite à gauche. D'autres fluides ont la propriété de tourner les plans de polarisation de gauche à droite, comme dans la table suivante, qui contient les résultats des expériences de M. Biot.

Cristaux qui tournent les plans de droite à gauche.

SUBSTANCES.	Axes de rotation pour chaque millimètre d'épaisseur.	Epaisseurs relatives qui produisent le même effet.
Cristal de roche. . . .	18° 414'	1
Huile de térébenthine. .	0 270	68 1/2
Solution de 1753 parties de camphre artificiel, dans 17359 d'alcool. . . .	0 018	
Huile essentielle de laurier.		
—— de terébenthine. .		

Cristaux qui tournent les plans de gauche à droite.

Cristal de roche. . . .	18 414	1
Huile essentielle de citron.	0 436	38
Sirop concentré. . . .	0 554	4 1/2

En examinant ces phénomènes, M. Fresnel trouva que dans le quartz, ils étaient produits par l'interférence de deux faisceaux formés le long de l'axe du quartz par la double réfraction. Il réussit à séparer ces deux faisceaux qui diffèrent de la lumière ordinaire et polarisée. Ils diffèrent de la lumière polarisée en ce que, lorsqu'un d'eux est doublé par un cristal double réfracteur, le faisceau ou image ne disparaît pas pendant la révolution du cristal,

Ils diffèrent de la lumière ordinaire en ce que, lorsqu'ils éprouvent deux réflexions totales du verre à un angle de 54°, l'un sort polarisé dans un plan incliné de 45° à la droite du plan de réflexion totale, et l'autre dans un plan incliné de 45° à sa gauche. M. Fresnel a aussi découvert les propriétés suivantes dans un rayon polarisé circulairement : Lorsqu'il est transmis par une plaque mince parallèle à son axe, il est divisé en deux faisceaux à couleurs complémentaires ; ces couleurs sont d'un quart de teinte ou ordre de couleurs plus haut ou plus bas, dans l'echelle de Newton, que la couleur qu'aurait donné la même plaque cristallisée dans la lumière polarisée. M. Fresnel a aussi prouvé qu'un rayon polarisé circulairement, transmis le long de l'axe du cristal de roche, ne donne pas les couleurs complémentaires, l'orsqu'on l'analyse.

(129.) En examinant ce sujet curieux, M. Fresnel découvrit la méthode suivante de produire un rayon qui possède toutes les propriétés ci-dessus, et exactement semblable à un des faisceaux produits par la double réfraction circulaire.

Soit ABCD (fig. 113) un parallélipipède de crown-glass, dont la mesure de réfraction est 1,510, et dont les angles ABC ADC sont chacun de 54° 1/2. Si un rayon ordinaire polarisé rR, tombe perpendiculairement sur AB, et sort perpendiculairement à CD, après avoir éprouvé deux réflexions totales en E et F, à des angles de 54° 1/2 ; et si ces réflexions ont lieu dans un plan incliné de 45° par

rapport au plan de polarisation du rayon, le rayon émergent FG a toutes les propriétés d'un rayon polarisé circulairement, ressemblant entièrement à un de ceux produits par la double réfraction le long de l'axe du cristal de roche. Mais comme ce rayon polarisé circulairement, peut revenir dans un seul plan de polarisation incliné de 45° par rapport au plan de réflexion, par deux réflexions totales à 54° 1/2, il suit, et j'ai vérifié ces résultats par mes observations, que si le parallélipipède ABCD est assez long, le faisceau en sort polarisé circulairement, après 2, 6, 10, 14, 18 réflexions, et polarisé dans un seul plan après 4, 8, 12, 16, 20 réflexions.

M. Fresnel a prouvé que le rayon rR sortirait à G, polarisé circulairement, par trois réflexions totales à 69° 12' et quatre réflexions totales à 74° 42'. Ainsi, suivant le raisonnement précédent, le rayon serait polarisé circulairement par 9, 15, 21, 27, etc, réflexions à 69° 12', et rendu à la lumière ordinaire polarisée par 6, 12, 18 et 24 réflexions au même angle ; il est polarisé circulairement par 12, 20, 28, 36 réflexions à 64° 12', ou rendu à la lumière polarisée ordinaire.

J'ai trouvé que la polarisation circulaire peut être produite par 2 1/2, 7 1/2, 12 1/2 réflexions, ou tout nombre multiple de 2 1/2 ; car quoiqu'on ne puisse voir le rayon au milieu d'une réflexion, on peut le faire voir lorsqu'il est rendu à un seul plan de polarisation, à 5, 10, 15 réflexions (1).

(1) *Transactions philosophiques* de 1830, page 301.

Lorsqu'on se sert de lumière homogène, on trouve que l'angle auquel est produite la polarisation circulaire, est différent pour les rayons différemment colorés ; et ainsi ces rayons différens ne peuvent être rendus à un seul plan de polarisation au même angle de réflexion. On voit donc des couleurs complémentaires telles que je les ai décrites il y a long-temps ; je crois qu'elles n'ont été observées par aucune autre personne (1). les couleurs sont essentiellement différentes de celles de la lumière ordinaire polarisée, et nous les ferons comprendre en expliquant celles de la polarisation elliptique.

CHAPITRE XXVII.

De la polarisation elliptique, et de l'action des métaux sur la lumière.

POLARISATION ELLIPTIQUE.

(130.) L'action des métaux sur la lumière a toujours présenté une anomalie difficile à expliquer pour les savans. Malus annonça d'abord qu'ils ne produisaient aucun effet sur la lumière, mais il trouva que la différence entre des corps transparens et métalliques, consiste en ce que les premiers réfléchissent toute la lumière qu'ils polarisent dans un plan, et réfractent toute celle qu'ils polarisent dans

---

(1) Voyez *Transactions philosophiques* de 1830, p. 309, 325.

le plan opposé; et que les corps métalliques *réfléchissent* la lumière qu'ils polarisent *dans les deux plans*. Avant de connaître aucune des expériences de Malus, j'avais trouvé. (1) que la lumière était modifiée par l'action des corps métalliques, et que dans tous les métaux que j'essayais, une grande portion de lumière était polarisée dans le plan d'incidence. En février 1815, je découvris la propriété curieuse de l'or, de l'argent, et d'autres métaux, de séparer les rayons polarisés en leurs couleurs complémentaires, par des réflexions successives; mais quelques-uns des résultats me firent croire qu'une réflexion d'un corps métallique produisait le même effet qu'une certaine épaisseur d'un corps cristallisé, et que les teintes polarisées variaient suivant l'angle d'incidence, et devenaient plus belles en augmentant le nombre des réflexions. M. Biot, en répétant mes expériences et en examinant avec soin ces phénomènes (1). fut trompé par les mêmes causes et a donné un long détail d'expériences, de formules et de calculs, dans lesquels les vrais phénomènes sont obscurs et confondus. Quoique je fusse pour beaucoup dans cette généralisation téméraire, je ne l'ai jamais regardée comme une expression correcte de ces phénomènes, et j'ai considéré de nouveau ce sujet avec le plus grand désir d'en surmonter les

(1) *Traité des nouveaux Instrumens scientifiques*, page 347 et préface.

(2) *Traité de Physique*, tome IV, page 579, 600.

difficultés J'ai réussi dans ces efforts et j'ai pu rapporter tous les phénomènes de l'action des métaux à une nouvelle espèce de polarisation, que j'ai appelée *elliptique*, et qui joint les deux classes de phénomènes qui constituent la *polarisation circulaire et rectiligne*.

(131.) Dans l'action des métaux sur la lumière ordinaire, il est facile de reconnaître le fait annoncé par Malus, que la lumière qu'ils réfléchissent est polarisée dans différens plans. J'ai trouvé que le faisceau polarisé dans le plan de réflexion, est toujours plus intense que celui polarisé dans le plan perpendiculaire. La plus petite différence entre ces faisceaux est dans l'argent, et la plus grande dans la galène, et par conséquent la dernière polarise plus de lumière que l'argent dans le plan de réflexion. La table suivante fait voir l'effet produit par d'autres métaux.

Ordre dans lequel les faisceaux polarisent le plus de lumière dans le plan de réflexion.

Galène.	Mercure.
Plomb.	Cuivre.
Cobalt gris.	Etain en plaque.
—— arsenical.	Bronze.
Pyrite de fer.	Etain en grenailles.
Antimoine.	Or des bijoutiers.
Acier.	Or pur.
Zinc.	Argent commun.
Métal à speculum.	Argent pur.
Platine.	Réflexion totale pour le verre.
Bismuth.	

En augmentant le nombre des réflexions, toute la lumière incidente peut être polarisée dans le plan de réflexion. Huit réflexions par des plaques d'acier polarisent toute la lumière d'une chandelle de cire, éloignée de la distance de 10 pieds (3047 millim.). Il faut un plus grand nombre de réflexions (plus de 36) pour produire le même effet avec de l'argent pur, et dans les réflexions totales du verre où commence la polarisation circulaire et où les deux faisceaux sont égaux, cet effet ne peut être produit par aucun nombre de réflexions.

Pour examiner l'action des métaux sur la lumière polarisée, il faut avoir deux plaques du même métal, plates et très-polies, chacune longue d'un pouce et demi (38 millimètres), et large d'un demi-pouce, (12 millimètres). Il faut fixer ces plaques parallèlement sur un goniomètre, ou tout instrument divisé, de manière à ce qu'on puisse approcher ou éloigner une plaque de l'autre, et que leurs surfaces puissent recevoir le rayon polarisé à différens angles d'incidence. Au lieu de donner aux plaques un mouvement de rotation autour du rayon polarisé, j'ai trouvé qu'il était mieux de faire mouvoir le plan de polarisation du rayon autour des plaques, de sorte qu'on peut mettre les plans de réflexion et de polarisation à tout angle voulu. On analyse alors, avec une plaque de verre ou un rhombe de spath d'Islande, le rayon réfléchi une ou plusieurs fois par les plaques.

Lorsque le plan de réflexion des plaques est parallèle ou perpendiculaire au plan de polarisation

primitive, la lumière refléchie n'est point modifiée particulièrement, excepté ce qui provient de sa propriété de polariser de la lumière dans le plan de réflexion. Mais dans toute autre position du plan de réflexion, à tout angle d'incidence, et après un nombre quelconque de réflexions, le faisceau a reçu des modifications particulières que nous allons expliquer. Cependant l'une d'elles est si belle et si frappante, que nous allons la décrire de suite. Lorsque les plaques sont en or ou en argent, on voit les couleurs complémentaires les plus brillantes dans les images ordinaires et extraordinaires, et ces couleurs changent suivant l'angle d'incidence et le nombre de réflexions; les couleurs sont à leur maximum d'éclat lorsque le plan de réflexion est incliné de 45° par rapport au plan d'incidence, et elles disparaissent lorsque l'inclinaison est de 0° ou de 90°. Tous les autres métaux de la table précédente, page 32, donnent des couleurs analogues; mais les plus brillantes sont dans l'argent, et leur éclat diminue de l'argent à la galène.

Pour chercher la cause de ces phénomènes, supposons qu'on se serve d'acier et que le plan du rayon polarisé soit incliné de 45° par rapport au plan de de réflexion. A une incidence de 75°, la lumière a éprouvé quelque changement physique, qui est à son maximum à cet angle. Ce n'est point de la lumière polarisée, parce qu'elle ne disparaît pas pendant la révolution de la plaque d'analyse. Cette lumière n'est ni ordinaire, ni partiellement polarisée;

puisque, après une seconde réflexion à 75°, elle redevient de la lumière polarisée dans un seul plan. Si l'on transmet la lumière réfléchie par l'acier, à 75° le long de l'axe du spath d'Islande, le système d'anneaux de la figure 98 est changé en celui de la figure 114, comme si une mince couche d'un corps cristallisé qui polarise le bleu du premier ordre avait traversé le système. Si l'on substitue au spath calcaire des couches de sulfate de chaux qui donnent différentes teintes, on trouve que ces teintes augmentent en valeur de près d'un quart de teinte, suivant que l'action métallique coïncide ou se trouve opposée à celle du cristal. Ce fut cette expérience qui me porta à croire que les métaux agissaient comme des plaques cristallisées, lorsque je trouvai que les couleurs étaient mieux développées et plus pures après plusieurs réflexions successives, j'en conclus hardiment, ainsi que M. Biot après moi, que chaque réflexion successive correspondait à une épaisseur additionnelle de la couche. Pour prouver la fausseté de cette opinion, transmettons la lumière réfléchie 2, 4, 6, 8 fois par l'acier à 75° le long de l'axe du spath d'Islande, on trouve que le système d'anneaux est parfait, et que toute la lumière est polarisée dans un plan, résultat entièrement incompatible avec la supposition des teintes qui augmentent suivant le nombre de réflexions. A 1, 3, 5, 7, 9, 11 réflexions, la lumière transmise le long de l'axe du spath d'Islande produit un effet égal à près d'un quart de teinte, et ne s'élève jamais au-delà.

Je compris alors que la lumière réfléchie 1, 3, 5, 7, 9 fois par l'acier à 75°, ressemblait à la lumière polarisée circulairement. Dans la lumière polarisée circulairement par *deux* réflexions du verre, le rayon polarisé primitivement de + 45° par rapport au plan de réflexion, est par deux réflexions au même angle, rendu à la lumiere polarisée à — 45° au plan de réflexion; tandis que dans l'acier, un rayon polarisé à + 45°, et réfléchi *une fois* par l'acier à 75°, est rendu par une autre réflexion à 75° à la lumière polarisée à — 17°

On produit les mêmes effets avec différens métaux, mais l'inclinaison du plan de polarisation du rayon rendu est différente, comme on le voit dans la table suivante.

RÉFLEXIONS TOTALES.	Inclinaison du rayon rendu à la lumière polarisée.
Par le verre.	45° 00'
— l'argent pur.	39 48
— l'argent commun.	36 00
— l'or pur.	35 00
— l'or des bijoutiers.	33 00
— l'étain en grenailles.	33 00
— le bronze.	32 00
— l'étain en plaque.	21 00
— le cuivre.	29 00
— le mercure.	26 00
— le platine.	22 00

RÉFLEXIONS TOTALES.	Inclinaison du rayon rendu à la lumière polarisée.
Par le bismuth.	21° 00'
— le métal à speculum.	21 00
— le zinc.	19 10
— l'acier.	17 00
— la pyrite de fer.	14 00
— l'antimoine.	16 15
— le cobalt arsenical.	13 00
— le cobalt.	12 30
— le plomb.	11 00
— la galène.	2 00
— le fer spéculaire.	0 00

Dans les réflexions totales ou dans la polarisation circulaire, le rayon polarisé circulairement est rendu à un seul plan, par le même nombre de réflexions et au même angle par lequel il recevait la polarisation circulaire, quelle que soit l'inclinaison du plan de la seconde paire de réflexions par rapport à celui de la première; mais dans la polarisation métallique, l'angle auquel la seconde réflexion rend le rayon à un seul plan de polarisation, varie suivant l'inclinaison du plan de la seconde réflexion par apport à celui de la première Dans les réflexions totales, cet angle varie comme les rayons d'un cercle, c'est-à-dire qu'il est toujours le même. Dans la polarisation métallique, il varie comme les rayons d'une ellipse. Ainsi, lorsque le plan du rayon polarisé est incliné

de 45° par rapport au plan de polarisation primitive, le rayon réfléchi une fois à 75° est rendu à la lumière polarisée à une incidence de 75°; mais lorsque les deux plans sont parallèles, le rayon est rendu à une incidence de 80°; lorsqu'ils sont perpendiculaires, à 70°; et à des angles intermédiaires, à des inclinaisons intermédiaires. C'est pour cela que j'ai appelé *elliptique* cette sorte de polarisation.

Nous avons déjà vu que la lumière polarisée à + 45° est polarisée *elliptiquement* par 1, 3, 5, 7 réflexions par l'acier, à 75°, et rendue à un seul plan de polarisation par 2, 4, 6, 8 réflexions au même angle; nous avons dit aussi que le plan de polarisation du rayon rendu par deux reflexions, se trouvait à l'état de — 17°. Voici les différentes inclinaisons de ce plan par rapport au plan de réflexion, à différens nombres de réflexions par l'acier et l'argent.

NOMBRE DE RÉFLEXIONS.	INCLINAISON DU PLAN DU RAYON POLARISÉ.	
	Acier.	Argent.
2	— 17° 00′	— 38° 15′
4	+ 5 22	+ 31 52
6	— 1 38	— 26 6
8	+ 0 30	+ 21 7
10	— 0 9	— 16 56
12	+ 0 3	+ 13 30
18	— 0 0	— 6 42
36	+ 0 0	+ 0 47

Les résultats expliquent de la manière la plus claire, pourquoi la lumière ordinaire est polarisée par l'acier après 8 réflexions, et par l'argent seulement après 36. La lumière ordinaire se compose de deux faisceaux polarisés l'un à + 45°, l'autre à — 45°, et l'acier amène ces plans de polarisation dans le plan de réflexion après 8 réflexions, tandis que l'argent ne le fait qu'après 36 réflexions.

(132.) On peut considérer les angles auxquels la la polarisation elliptique est produite par une réflexion, comme les angles maximum de polarisation des métaux, et leurs tangentes comme les mesures de réfraction de ces métaux, ainsi que cela est indiqué dans la table suivante.

NOMS DES MÉTAUX.	Angle maximum de polarisation.	Mesure de réfraction.
Étain en grenailles. . .	78° 30'	4, 915
Mercure.	78 27	4, 893
Galène.	78 10	4, 773
Pyrite de fer. . . .	77 30	4, 511
Cobalt gris.	76 56	4, 309
Métal à speculum. . .	76 00	4, 011
Antimoine fondu. . .	75 25	3, 844
Acier.	75 00	3, 732
Bismuth.	74 50	3, 689
Argent pur.	73 00	3, 271
Zinc.	72 30	3, 272
Plaque d'étain battue. .	70 50	2, 879
Or des bijoutiers, . .	70 45	2, 864

On peut produire la polarisation elliptique par un nombre suffisant de réflexions à tout angle donné, au-dessus ou au-dessous de l'angle maximum de polarisation, comme dans la table suivante pour l'acier.

NOMBRE DE RÉFLEXIONS qui produit la polarisation elliptique.	Nombre de réflexions qui rend le faisceau à un seul plan.	Angles observés d'incidence.
3, 9, 15, etc.	6, 12, 18, etc.	86° 00'
2 1/2, 7 1/2, 12 1/2, etc.	5, 10, 15, etc.	84 00
2, 6, 10, etc.	4, 8, 12, etc.	82 20
1 1/2, 4 1/2, 7 1/2, etc.	3, 6, 9, etc.	79 00
1, 3, 5, etc.	2, 4, 6, etc.	75 00
1 1/2, 4 1/2, 7 1/2, etc.	3 6, 9, etc.	67 40
2, 6, 10, etc.	4, 8, 12, etc.	60 20
2 1/2, 7 1/2, 12 1/2, etc.	5, 10, 15, etc.	56 25
3, 9, 15, etc.	6, 12, 18, etc.	52 20

Lorsque le nombre de réflexions est entier, on comprend facilement comment un rayon polarisé elliptiquement, recommence sa course et reprend son état de polarisation dans un seul plan, par le même nombre de réflexions qui le lui a fait perdre, mais il est intéressant d'observer que, lorsque le nombre de réflexions est 1 1/2, 2 1/2, ou tout nombre mixte, le rayon acquiert sa polarisation elliptique au milieu de la seconde et de la troisième réflexion, c'est-à-dire que lorsqu'il a atteint sa plus grande profondeur dans la surface métallique, il

commence à reprendre son état de polarisation dans un seul plan, et le reprend entièrement après 3, 5, 7 réflexions. On voit un effet très-remarquable, lorsqu'une réflexion se fait d'un côté de l'angle maximum de polarisation, et une de l'autre. Un rayon qui a reçu une réflexion elliptique partielle, à 85°, n'acquiert pas plus de polarisation elliptique par une réflexion à 54°, mais il reprend sa course et son état de simple polarisation.

Par une méthode qu'il serait trop long de détailler ici, j'ai déterminé le nombre de points de restauration qui peuvent arriver à différens angles d'incidence de 0° à 90° pour un nombre quelconque de réflexions, et je les ai représentés dans le figure 115, où les arcs I, I, II, II, etc, représentent le quart d'incidence pour 1, 2 réflexions, etc. C, étant le point de 0°, et B celui de 90° d'incidence. Dans le quart I, I, il n'y a aucun point de restauration. Dans II, II, il y a un seul point ou *nœud* de restauration, à 73° dans l'argent. Dans III, III, il y a deux points de restauration, parce qu'un rayon polarisé elliptiquement par une réflexion et demie, est restauré, maximum de polarisation, et à 79° 40' au-dessus par 8 réflexions à 63° 43' au-dessous de l'angle de cet angle. On peut prouver aussi que pour IV, IV, il y a trois points de restauration; pour V, V, 4 points, et pour VI, VI, 5 points, comme dans la figure. Les chainons ou doubles courbes ont été faits pour représenter l'intensité de la polarisation elliptique, dont le minimum est à 1, 2, 3, etc,

et le maximum au milieu des parties non ombrées. Si l'on se sert de lumière homogène, on trouve que les chaînons ont différentes grandeurs, suivant les différens rayons, et que leur minima et maxima sont différens. Ainsi, dans le VI^e^ quart, CB, par exemple, il y a 6 chaînons de toutes les couleurs différentes, C1; 1, 2; 2, 3; 3, 4, etc., qui se recouvrent et produisent par leur mélange ces belles couleurs complémentaires dont nous avons parlé. Pour connaître mieux cette branche curieuse de la polarisation, je dois renvoyer le lecteur aux *Transactions philosophiques* de 1830, ou au *Journal des Sciences d'Edimbourg*, N^os^ VII et VIII, nouvelle série, avril 1831.

CHAPITRE XXVIII.

De la structure polarisante produite par la chaleur, le froid, la compression, la dilatation et l'induration.

Les divers phénomènes de la double réfraction; et le système d'anneaux polarisés à un et deux axes de double réfraction, et avec des plans de non double réfraction, peuvent être produits par une action passagère ou permanente, dans le verre et d'autres substances, par la chaleur, le froid, un refroidissement soudain, la compression, la dilatation et l'induration.

I. INFLUENCE PASSAGÈRE DE LA CHALEUR ET DU FROID.

(2.) *Cylindre de verre à un axe positif de double réfraction.*

(283.) Si l'on prend un cylindre de verre d'un demi-pouce à un pouce (de 12 à 25 millimètres) et plus de diamètre, épais d'un demi-pouce (12 millimètres) et plus, et qu'on transmette de la chaleur de la circonférence au centre; lorsqu'on l'expose à la lumière polarisée, dans l'appareil de la figure 94, il donne un système d'anneaux avec une croix noire, exactement semblable à celui de la figure 98, et l'on voit le système complémentaire de la figure 99, en tournant la plaque C de 90°. Dans ce cas, il faut tenir le cylindre à la distance de 8 à 10 pouces (203 à 253 millimètres) de l'œil, et l'on voit les anneaux comme s'ils étaient dans l'intérieur du verre. Si l'on couvre une certaine portion de la surface du cylindre de verre, on cache la portion correspondante des anneaux, de sorte que le cylindre a son seul axe de double réfraction, fixé dans l'axe de sa figure, et non dans toute direction parallèle à cet axe, comme dans les cristaux.

En traversant les anneaux par une plaque de sulfate de chaux, comme nous l'avons expliqué, on trouve qu'elle affaiblit les teintes des deux quarts que traversent l'axe de la plaque, et par conséquent ce système d'anneaux est négatif comme celui du spath calcaire.

Dès que la chaleur atteint l'axe du cylindre, les anneaux commencent à perdre leur éclat, et ils disparaissent entièrement lorsque la chaleur est uniformément répandue dans tout le cylindre.

(2.) *Cylindres de verre avec un axe négatif de double réfraction.*

(134.) Si un cylindre semblable de verre est chauffé uniformément dans l'huile bouillante, ou porté à une très-haute température, et qu'on le fasse refroidir promptement en entourant sa circonférence d'un bon conducteur, il donne un système d'anneaux qui disparaît lorsque le verre est uniformément froid. En traversant ces anneaux avec du sulfate de chaux, on trouve qu'ils sont positifs comme ceux de la glace et de la zircone, ce qu'on peut prouver en combinant ce système avec le précédent, et alors, ils se détruisent mutuellement.

Dans ces deux systèmes d'anneaux, la valeur numérique de la teinte, ou couleur d'un point quelconque, varie comme le carré de la distance de ce point à l'axe. On peut produire de très-beaux systèmes, en plaçant de minces couches de sulfate de chaux entre deux de ces systèmes.

(3.) *Plaques rondes de verre avec deux axes de double réfraction.*

(135.) Si l'on prend une plaque ovale ABCD (fig. 116), on en sert pour faire les deux expériences

précédentes, on trouve que dans les deux cas elle a deux axes de double réfraction. Le principal qui passe par O est *négatif*, lorsque la circonférence est chaude, et *positif*, lorsqu'elle est froide. Les courbes AB, CD, correspondent aux courbes noires de la figure 101, et la distance *mn* à l'inclinaison des axes résultans. L'effet représenté dans la figure 116, est produit en inclinant *mn* de 45°, par rapport au plan de polarisation; mais lorsque *mn* est contenu dans le plan de polarisation primitive, ou lui est perpendiculaire, les courbes AB, CD, forment une croix noire, comme dans la figure 100.

Dans toutes les expériences précédentes, on aurait pu introduire et faire passer la chaleur ou le froid de chaque extrémité à l'axe du cylindre ou de la plaque. Dans ce cas, les phénomènes auraient été exactement les mêmes, mais les axes qui étaient négatifs eussent été positifs, et réciproquement.

(4.) *Cubes de verre avec une double réfraction.*

(136.) Lorsque la forme du verre est un cube, les anneaux sont comme dans la figure 117, et lorsque c'est un parallèlipipède, long de trois fois sa largeur, les anneaux sont comme dans la figure 118; les courbes des teintes égales près des angles, étant des cercles, comme on le voit dans les deux figures.

(5.) *Plaques rectangulaires de verre, avec des plaques de non double réfraction.*

(137.) Si une plaque rectangulaire de verre bien

huilé, EFDC, est placée sur son bord inférieur CD (fig. 119), sur une plaque de fer AB presque rouge, et qu'on place ces deux plaques ensemble, dans l'appareil de la figure 93, de telle sorte que CD soit incliné de 45°, par rapport au plan de polarisation primitive, et que la lumière polarisée puisse venir de chaque partie du verre, à l'œil placé en E, on observe les phénomènes suivans. Dès que la chaleur pénetre la surface CD, on voit des franges de couleurs brillantes, parallèles à CD, et presqu'en même temps, avant que la chaleur ait atteint la surface supérieure EF, ou même la ligne centrale *ab*, on voit des franges semblables en EF. Des couleurs d'abord bleu faibles, puis blanc, jaune, orangé, etc., paraissent en *a b*, et ces couleurs centrales sont séparées de celles du bord par deux lignes noires MN, OP, qui n'ont ni double réfraction ni polarisation. Ces lignes repondent aux courbes noires des figures 101 et 116; la structure entre MN et OP est négative comme celles du spath calcaire, et les structures hors de MN et OP sont positives comme celles de la zircone. Les teintes ainsi développées, sont celles de l'échelle de Newton, et sont composées des différens ordres de teintes que donnerait chaque rayon homogène du spectre.

Dans ces plaques, il y a visiblement un nombre infini d'axes, dans les plans qui passent par MN, OP, et l'on peut calculer toutes les teintes, ainsi que la double réfraction, par les mêmes lois que dans les cristaux réguliers, *mutatis mutandis*.

Si l'on chauffe bien également la plaque EFDC, les franges sont plus régulières et plus promptes; et si la plaque, chauffée d'abord dans l'huile ou autrement, est refroidie également, elle développe les mêmes franges, mais celles du centre en *ab* sont positives, et les extérieures en CD et CF négatives.

On peut produire des effets semblables dans des plaques semblables de sel de roche, d'obsidienne, de spath fluor, de copal, et d'autres qui n'ont pas la structure double réfractrice.

On produit une série de phénomènes éclatans, en croisant des plaques de verre semblables ou dissemblables, lorsque leurs franges sont développées. Lorsque des plaques semblables soit de verre, soit celles produites par la chaleur, comme dans la figure 119, sont croisées, les courbes ou lignes de teintes égales aux carrés d'intersection ABCD, (fig. 120), sont des hyperboles. La teinte du centre est la différence des teintes centrales de chaque plaque, et les teintes des hyperboles successives, s'élèvent graduellement dans l'échelle au-dessus de cette teinte centrale. Si les teintes produites par chaque plaque sont exactement les mêmes, et que les plaques soient de la même grandeur, les teintes centrales se détruisent, les hyperboles sont équilatérales, et les teintes s'élèvent graduellement, à partir du zéro de la table de Newton.

Lorsqu'on croise des plaques dissemblables, comme dans la figure 121, une produite par le froid avec une produite par le chaud, les lignes de tein-

tes égales, dans le carré d'intersection ABCD (fig. 121), sont des ellipses. Les teintes du centre, sont égales à la somme des teintes séparées, et les teintes formées par la combinaison des franges extérieures, sont égales à leur différence. Si les plaques et leurs teintes sont parfaitement égales, les lignes de teintes égales sont des cercles. On ne peut comprendre la beauté de ces combinaisons que par des dessins colorés. Lorsque les plaques sont combinées en longueur, elles augmentent ou diminuent leur effet mutuel, selon qu'on oppose l'une à l'autre des franges semblables ou dissemblables.

(6.) *Sphères de verre, etc., avec un nombre infini d'axes de double réfraction.*

(138.) Si l'on place une sphère de verre dans un vaisseau de verre rempli d'huile chaude, et qu'on observe le système d'anneaux pendant que la chaleur va au centre de la sphère, on trouve que c'est un système régulier exactement semblable à celui de la figure 98, et il n'éprouve pas de changement en tournant la sphère dans toutes les directions. Ainsi la sphère a un nombre infini d'axes *positifs de* double réfraction, ou un le long de chaque diamètre.

Si l'on place une sphère de verre très-chaude dans un vase de verre rempli d'huile froide, on produit un système semblable, mais dont les axes sont négatifs.

(7.) Sphéroïdes de verre avec un seul axe de double réfraction, le long de l'axe de révolution, et deux axes le long des diamètres équatoriaux.

(139.) Si l'on place un sphéroïde aplati par les pôles, dans un vaisseau de verre rempli d'huile chaude, on trouve qu'il a un axe de double réfraction positive le long de l'axe le plus petit ou de révolution; mais, si l'on transmet la lumière polarisée le long d'un de ses diamètres équatoriaux, on trouve qu'il a deux axes de double réfraction, les courbes noires paraissant comme dans la figure 116, lorsque l'axe de révolution est incliné de 45° par rapport au plan de polarisation primitive, et formant une croix lorsque l'axe est parallèle ou perpendiculaire au plan de polarisation primitive.

On produit les mêmes phénomènes avec un sphéroïde plat; seulement la croix noire se forme dans un plan différent de celui où se développent les deux axes.

On développe des systèmes d'anneaux opposés, dans ces deux cas, en plongeant les sphéroïdes chauds dans l'huile froide.

On se sert d'huile pour faire passer la lumière polarisée au travers des sphères et sphéroïdes, sans réfraction. L'huile doit avoir une force réfractrice, qui approche autant que possible de celle du verre.

On produit une foule de phénomènes très-curieux en chauffant et refroidissant des tubes et des cylindres

de verre, le long de leurs axes; les variations les plus singulières ont lieu à mesure que la chaleur ou le froid s'appliquent à la circonférence, ou à l'axe, ou bien à tous les deux.

(8.) *Influence de la chaleur des cristaux réguliers.*

(140.) L'influence de la chaleur ou du froid uniforme sur les cristaux réguliers est très-remarquable. M. Fresnel trouva que la chaleur dilate moins le sulfate de chaux dans la direction de son axe principal, que dans la direction qui lui est perpendiculaire; le professeur Mitscherlich a trouvé que le spath d'Islande est dilaté par la chaleur dans la direction de son axe de double refraction et aussi dans toutes les directions, perpendiculaires à cet axe; de sorte qu'il doit y avoir quelque direction intermédiaire le long de laquelle il n'y a ni contraction, ni dilatation. La chaleur rapproche le rhombe du spath d'Islande du cube, et diminue sa double réfraction.

En appliquant la chaleur au sulfate de chaux, le professeur Mitscherlich trouva que les deux axes résultans (P, P, fig. 106) se rapprochaient graduellement à mesure que la chaleur augmentait, se joignaient à O, et formaient un seul axe. En augmentant la chaleur, ils s'ouvraient des deux côtés vers A et B. J'ai remarqué un fait analogue et très-curieux dans la glaubérite, qui a un axe de double réfraction pour le violet, et deux pour le rouge. A une chaleur au-dessous de l'eau bouillante, les deux

axes résultans (P', P fig. 106), se joignent à O; en augmentant un peu la chaleur, les axes résultans se séparent, l'un dans la direction OA, et l'autre dans la direction OB. En appliquant le froid, le seul axe O, pour la lumière violette, se sépare en deux P, P. A une certaine température, l'axe violet en forme deux dans le plan AB.

(2) *De l'influence permanente d'un refroidissement soudain.*

(141.) En mars 1814, je trouvai que du verre fondu et refroidi de suite, comme des gouttes du prince Robert, possédait une structure double réfractrice permanente (1); et, en décembre 1814, le docteur Seebeck publia un rapport d'expériences analogues avec des cubes de verre. On peut former des cylindres, plaques, cubes, sphères et sphéroïdes de verre, en chauffant le verre au rouge, et refroidissant soudainement la circonférence ou les bords. Comme ces corps solides perdent souvent leurs formes pendant l'opération, la symétrie de leur structure en est affectée, et le système d'anneaux ou de franges, dérangé, de sorte que les phénomènes ne sont pas aussi parfaits que pendant l'influence passagère de la chaleur et du froid; il est souvent nécessaire aussi de polir et d'adoucir de nouveau la surface,

(1) Lettre à sir Joseph Banks, 8 avril 1814, *Transactions philosophiques* de 1814.

et les solides se brisent souvent pendant cette opération, à cause de la gêne qu'éprouvent les molécules.

On peut produire une variété innombrable des plus belles figures d'optique, en refroidissant le verre sur des patrons métalliques (les métaux étant les meilleurs conducteurs) appliqués symétriquement sur chaque surface du verre ou autour de sa circonférence. On peut ainsi enlever la chaleur du verre dans des lignes de différentes formes et directions, de manière à donner la plus grande variété à sa structure, et à la figure d'optique qu'elle produit, lorsqu'on l'expose à la lumière polarisée.

(142.) Dans les cristaux doubles réfracteurs, la forme des anneaux est indépendante de la forme extérieure du cristal, mais dans les solides de verre qui ont reçu une structure doublement réfractrice, passagère ou permanente par la chaleur, les anneaux dépendent entièrement de la forme extérieure du solide. Si dans la figure 119, on divise la plaque rectangulaire EFDC en deux parties égales par la ligne $a\,b$, chaque moitié de la plaque a la même structure que la plaque entière, une structure négative et deux positives, séparées par deux lignes noires neutres. De la même manière, si l'on coupe un morceau d'un tube de verre par une fente de la circonférence au centre, ou si l'on altère la forme de plaques cylindriques et de sphères, en leur donnant différentes figures extérieures, on

change complétement les figures, d'optique qu'elles produisaient auparavant.

(3.) *De l'influence de la compression et de la dilatation.*

(143.) Si l'on pouvait comprimer et dilater les divers solides dont nous avons parlé avec la même facilité qu'on peut les chauffer et les refroidir, on produirait les structures doubles réfractrices, que nous avons décrites, la compression et la dilatation produisant toujours des structures opposées.

On peut bien comprendre l'influence de la compression et de la dilatation, en prenant une plaque de verre ABDC (fig. 122), et la courbant avec les mains. En la plaçant dans l'appareil de la figure 94, et inclinant son bord AB de 45 degrés par rapport au plan de polarisation primitive, toute l'épaisseur du verre est couverte de franges colorées, composées d'un système négatif, et d'un positif, séparés par une ligne noire neutre MN. Les franges du côté convexe AB sont négatives, celles du côté concave positives. Plus on courbe la plaque, plus le nombre des teintes augmente; moins on la courbe, plus le nombre de teintes diminue, et elles disparaissent entièrement lorsque la plaque de verre reprend sa position primitive. Les teintes, qui sont celles de l'échelle de Newton, varient suivant leur distance de MN; et lorsque deux plaques comme celles de la figure 122 se croisent, elles produisent dans le carré

de l'intersection, des franges rectilignes parallèles à la diagonale du carré qui joint les angles où se rencontrent les deux côtés concaves et les deux côtés convexes des plaques.

Lorsqu'on fait traverser une plaque cristallisée, par la chaleur, et refroidie soudainement, par une plaque de verre courbé, les franges du carré de l'intersection sont des paraboles dont le sommet est vers le côté convexe de la plaque courbée, si l'axe de l'autre est positif, mais vers le côté concave, si l'axe est négatif.

On peut voir distinctement les effets de la compression et de la dilatation, en comprimant ou dilatant des carrés ou cylindres de gelée de pied de veau ou de colle de poisson.

L'application des forces de compression et de dilatation, m'a mis à même d'altérer la structure double réfractrice des corps cristallisés régulièrement dans chaque direction, augmentant ou diminuant leurs teintes suivant leur direction, dans laquelle j'appliquais ces forces (1).

Mais l'influence la plus remarquable de la pression, est celle qu'elle exerce sur un mélange de cire blanche et de résine. Dans tous les cas de production artificielle de la double réfraction, les phénomènes se rapportent à la forme de la masse qui éprouve le changement; j'ai pu communiquer au

(1) Voyez *Transactions d'Edimbourg*, vol. VIII, page 28.

mélange ci-dessus une double réfraction semblable à celle qui existe dans les molécules des cristaux. La masse comprimée a un seul axe de double réfraction dans chaque direction parallèle, et les anneaux colorés sont produits par l'inclinaison du rayon réfracté par rapport à l'axe, suivant la même loi que dans les cristaux réguliers. Si l'on ôte la couche comprimée, on trouve qu'une portion quelconque a un axe de double réfraction, comme les parties d'une couche d'un cristal à un seul axe. Nous réservons pour la fin de cette partie de l'ouvrage, les conséquences importantes qu'on déduit de cette expérience.

4. DE L'INFLUENCE DE L'INDURATION.

(144.) En 1814, j'eus l'occasion de faire quelques expériences sur l'influence sur l'induration, en communiquant la double réfraction à des solides mous. Lorsqu'on sèche de la colle de poisson dans un vaisseau de verre circulaire, elle donne un système d'anneaux avec une croix noire, exactement, comme les cristaux négatifs à un seul axe. Lorsqu'on fait durcir la circonférence d'une plaque cylindrique de colle de poisson, elle donne un système d'anneaux à un axe positif. Si le vaisseau de la première expérience et la plaque de la seconde sont ovales, on voit deux axes de double réfraction.

Lorsque de la gelée, placée dans des moules de verre rectangulaire, a durci graduellement, elle dé-

veloppe une structure positive et une négative, qui sont séparées par une ligne noire neutre. Si l'on ôte le fond du moule, de manière à ce que l'induration ait lieu à deux surfaces parallèles, elle produit les mêmes franges, qu'un morceau de verre échauffé dans l'huile et refroidi ensuite.

On peut, par une induration convenable, faire produire à des sphères et sphéroïdes de gelée, les mêmes effets qu'à des sphères et sphéroïdes de verre chauffés ou refroidis. Les lentilles de presque tous les animaux possèdent la structure double réfractrice. Les unes n'ont qu'une structure qui est ordinairement positive; d'autres en ont deux, une positive et une négative; plusieurs en ont trois, une négative entre deux positives, ou une positive entre deux négatives. Dans quelques-unes, il y a deux structures de même sorte. Par le procédé de l'induration, on peut détruire entièrement la structure naturelle de la lentille (surtout lorsqu'elle est sphérique ou sphéroïdale), et ajouter à la structure produite par l'induration. J'ai sous les yeux une lentille sphéroïdale du poisson *boneto*, qui a un superbe système d'anneaux le long de la sphéroïde, et deux le long des diamètres équatoriaux. J'ai aussi plusieurs lentilles durcies de la morue, qui font voir, de la plus belle manière, leur stucture double-réfractrice.

CHAPITRE XXIX.

Phénomènes des Cristaux composés ou à facettes.

(145.) Dans tous les cristaux doubles réfracteurs, de forme régulière, la séparation des images, la grandeur des anneaux, et la valeur des teintes, sont exactement les mêmes dans toutes les directions parallèles. Cependant, si deux cristaux ont crû ensemble de manière à ce que leurs axes soient inclinés, et si l'on coupe une plaque de ces cristaux unis, de telle sorte que l'œil puisse la distinguer d'une plaque coupée sur un seul cristal, l'exposition de ce cristal à la lumière polarisée, fait voir aussitôt sa nature composée, et même fait distinguer la ligne de jonction. Cela se comprend de suite en considérant que le rayon polarisé a des inclinaisons différentes par rapport à l'axe de chaque cristal, et qu'il produit des teintes différentes à ces inclinaisons différentes. Ainsi l'examen d'un corps, dans la lumière polarisée, nous fournit une manière de distinguer des structures qu'on ne peut découvrir avec le microscope ou de tout autre manière.

On en voit un très-bel exemple dans le *sulfate bipyramidal de potasse*, que le comte de Bournon, et d'autres cristallographes, regardaient comme un simple cristal, dont la forme primitive était le dodécaèdre bipyramidal, comme le cristal de la

fig. 112. Mais en coupant une plaque perpendiculaire à l'axe de la pyramide, et en l'exposant à la lumière polarisée, je trouvai qu'il était composé de plusieurs cristaux unis de manière à former la figure régulière représentée par la figure 112. Le cristal a deux axes de double réfraction, et le plan qui passe au travers des deux axes de l'un, est incliné de 60° par rapport au plan qui passe au travers des deux axes de chacun des deux autres. De sorte que l'orsqu'on incline la plaque, chacun des trois cristaux combinés donne différentes couleurs. J'ai trouvé plusieurs structures remarquables de ce genre dans le règne minéral, et parmi les sels artificiels; mais deux de ces cristaux seulement sont assez intéressants pour mériter une description particulière.

(146.) L'apophyllite de Fardë cristallise ordinairement en prismes carrés à angles droits, et se fend avec la plus grande facilité en plaques par des plans perpendiculaires à l'axe du prisme. Si, avec un couteau tranchant, on enlève la couche supérieure ou inférieure, on trouve qu'elle a un axe de double réfraction, et qu'elle donne le seul système d'anneaux de la figure 98. Si l'on coupe d'autres tranches de la même manière, on trouve qu'exposées à la lumière polarisée, elles donnent la curieuse structure à facettes de la figure 113. La partie extérieure MONP, se compose d'une foule de plaques ou veines parallèles. Dans le centre est un petit losange *abcd*, avec un axe de double réfraction, et autour sont quatre cristaux A, B, C, D, avec deux axes

de double réfraction ; le plan qui passe par les axes de A et D, est perpendiculaire à celui qui passe par les axes B et C ; le premier est dans la direction MN, et le second dans la direction OP.

Lorsque la lumière polarisée est transmise au travers des faces de certains prismes, on voit la superbe figure à facettes de la figure 124 dont toutes les parties différemment ombrées brillent des couleurs les plus éclatantes. Comme le prisme a partout la même épaisseur, il est clair que la force double réfractrice varie dans différentes parties du cristal ; mais cette variation est tellement symétrique par rapport aux côtés et aux extrémités du prisme, qu'elle défie toutes les lois reconnues de la cristallographie.

Voulant observer la forme des lignes de couleurs égales, je plongeai le cristal dans l'huile, et je transmis la lumière polarisée dans une direction parallèle à une des diagonales du prisme. L'effet qu'elle produisit est représenté dans la figure 125, où ABCD est le cristal ; AC, BD ses bords où l'épaisseur est nulle ; et *mn* le bord que traverse la diagonale du prisme. Il est clair que si le cristal eût été régulier, les lignes de teinte égale, ou de double réfraction égale, auraient été des lignes droites parallèles à AC ou BD ; mais dans l'apophyllite, elles présentent les irrégularités les plus singulières, qui cependant se rapportent symétriquement à certains points fixes du cristal. Dans le milieu du cristal, à égale distance de *m* et de *n*, il n'y a que cinq franges ou ordres de couleurs ; à des points équidistans de ceux-ci, il

y a six franges, la sixième se repliant sur elle-même en forme d'ovale. A deux autres points équidistans, près de *m* et *n*, les 3^e^, 4^e^ et 5^e^ franges sont régulièrement dentelées, et la 6^e^ et la 7^e^ se replient sur elles-mêmes en forme de carré ; au-delà, près de *m* et *n*, il n'y a que quatre franges, parce que la cinquième se replie sur elle-même.

(147.) Une structure composée très-différente, mais très-intéressante par l'effet qu'elle produit, se trouve dans plusieurs cristaux de spath d'Islande qui sont coupés par des couches ou veines parallèles d'épaisseurs différentes, comme dans la figure 126. Les minces veines, ou couches, sont perpendiculaires aux courtes diagonales EF, GH, des faces du rhombe, et parallèles aux bords EG, FH. Lorsqu'on regarde perpendiculairement au travers des faces AEBF, DGCH, la lumière ne passe pas au travers des plans *ebcg*, ABCD, *afhd*, et l'on ne voit que deux images de l'objet, comme si ces plans n'existaient pas. Mais, si l'on regarde au travers d'une des deux autres paires de faces parallèles, on observe les deux images ordinaires à leur distance ordinaire, et à une plus grande distance, deux images secondaires, une de chaque côté des images ordinaires. Quelquefois il y a quatre, et six images secondaires, rangées sur deux lignes, une de chaque côté de l'image ordinaire, et perpendiculaire à la ligne qui joint leurs centres. Lorsque les plans d'interruption sont nombreux, et surtout lorsqu'ils sont perpendiculaires aux courtes diagonales des deux autres faces du rhombe, qui se ren-

contrent à B, sommet obtus, les images secondaires sont fort nombreuses, et quelquefois arrangées en pyramides de la plus grande beauté, disparaissant, reparaissant et changeant de couleur et d'intensité de lumière à chaque inclinaison de la plaque. Si la lumière de l'objet lumineux est polarisée, les phénomènes ont encore de plus grandes variations. Lorsque les couches ou veines sont épaisses, les images ne sont pas colorées, mais elles sont bordées des couleurs de la lumière réfractée.

Malus considérait ces phénomènes comme produits par des fentes ou criques dans le cristal, et regardait les couleurs comme celles de minces plaques d'air ou d'espace atmosphérique ; mais j'ai trouvé qu'elles étaient produites par des veines ou cristaux gémaux unis ensemble assez fortement pour résister à la séparation plus puissamment que les plans de clivages naturels, et je l'ai trouvé à-la-fois, cristallographiquement en mesurant les angles des veines, et optiquement en observant le système d'anneaux vu au travers des veines seules.

On comprendra cette stucture composée d'après la la figure 127, où ABDC est la section principale d'un rhombe de spath d'Islande, dont l'axe est AD. La forme et la position d'une des veines d'intersection ou plaque rhomboïdale sont représentées à M*m*, N*n*, mais beaucoup plus épaisses qu'elles ne le sont réellement ; les angles A*m*M et D*n*N étant de 141° 44, un rayon de lumière ordinaire R*b*, incident la surface AC en *b*, est réfracté dans les directions

bc, *bd*. Les rayons entrant dans la veine Mm Nn à *c* et *d*, sont encore doublement réfractés ; mais comme la veine est assez mince pour produire les couleurs complémentaires de la lumière polarisée, par l'interférence de deux faisceaux qui composent chacun des deux faisceaux *ce*, *df*, ces couleurs dépendent de l'épaisseur de la veine MN, et de l'inclinaison du rayon par rapport à l'axe de la plaque MN. Les doubles faisceaux émergent de la veine à *e*, *f*, et sont réfractés de nouveau comme dans la figure, dans les directions *em*, *en*, *fo*, *fp* ; les couleurs de *en*, *fo* étant complémentaires à celle de *em*, *fp*. On peut prouver oculairement que la multiplication et les couleurs des images sont dues aux causes que je viens d'expliquer, comme je l'ai fait en divisant des rhombes de spath calcaire, et insérant entre elles, ou entre des couches coupées dans un seul morceau de spath calcaire, une couche mince de sulfate de chaux ou de mica. De cette manière, on peut reproduire tous les phénomènes du cristal naturel à facettes, avec le cristal artificiel, et l'on peut donner une grande variété à ces phénomènes, en insérant de minces couches dans différens azimuts autour des faisceaux polarisés *bc*, *bd*, et à différentes inclinaisons par rapport à l'axe de double réfraction.

Le cristal composé de la figure 127 est réellement un appareil naturel de polarisation. La partie du rhombe AmNC polarise la lumière incidente R*b*. La veine MN est la mince veine cristallisée dont on

veut examiner les couleurs, et la partie BMnD est le rhombe d'analyse.

Divers autres minéraux et cristaux artificiels sont coupés par des veines analogues et produisent des phénomènes analogues. Il y a plusieurs cristaux composés dont la structure a des particularités remarquables, et qui déploient de curieux phénomènes d'optique par la polarisation de la lumière. La topaze du Brésil est une de celles qui sont remarquables, et dont j'ai expliqué les propriétés par des dessins coloriés dans le second volume des *Transactions de Cambridge*.

Pour bien connaître les propriétés des cristaux composés, et la multiplication des images par les cristaux de spath calcaire, qui sont interrompus par des veines, nous renvoyons le lecteur aux *Transactions d'Edimbourg*, vol. IX, page 371, et aux *Transactions philosophiques* de 1815, page 270, ou à l'*Encyclopédie d'Edimbourg*, article Optique.

CHAPITRE XXX.

Dichroïsme ou double couleur des corps, et observation de la lumière polarisée.

(148.) Si un corps cristallisé a une couleur différente dans différentes directions, lorsque la lumière ordinaire est transmise au travers de sa substance, on dit qu'il possède le *dichroïsme*, mot qui signifie deux couleurs. Le docteur Wollaston observa cette propriété, il y a long-temps, dans le minéral de

palladium, qui paraissait d'un rouge foncé le long de l'axe, et d'un vert brillant dans la direction transversale. M. Cortier observa les mêmes changemens de couleur dans un minéral nommé *iolite*, et qu'Hauy appela *dichroïte*. M. Herschel a observé un phénomène semblable dans une variété de sousoxisulfate de fer, qui est d'un rouge de sang le long de l'axe, et vert léger dans la direction perpendiculaire à l'axe. En examinant cette sorte de phénomène, je trouvai qu'ils dépendent de l'absorption de la lumière; ils sont réglés par l'inclinaison du rayon incident, par rapport à l'axe de double réfraction, et par une différence de couleur dans les deux faisceaux formés par la double réfraction.

Dans un rhombe de spath d'Islande jaune, l'image extraordinaire était d'un jaune orangé, tandis que l'image ordinaire était d'un blanc-jaunâtre le long de l'axe. La couleur et l'intensité des deux faisceaux était la même, et la différence de couleur et d'intensité augmentait selon l'inclinaison des axes. Lorsque les deux images se recouvraient, leur couleur combinée était la même à toutes les inclinaisons de l'axe, et leur couleur était celle du minéral. Si l'on expose le rhombe à la lumière polarisée, sa couleur est jaune-orangé dans la position où l'image ordinaire disparaît, et blanc-jaunâtre dans celle où l'image extraordinaire disparaît. Les cristaux de la table suivante possèdent les mêmes propriétés, les images ordinaires et extraordinaires, ayant les couleurs placées vis-à-vis de leur nom.

COULEURS DES DEUX IMAGES DANS LES CRISTAUX A UN AXE.

NOMS DES CRISTAUX.	SECTION PRINCIPALE. DANS LE PLAN DE POLARISATION.	SECTION PRINCIPALE PERPENDICULAIRE AU PLAN DE POLARISATION.
Zircone.	Blanc-brunâtre.	Brun foncé.
Saphir.	Vert-jaunâtre.	Bleu.
Rubis.	Jaune pâle.	Rose brillant.
Emeraude.	Vert-jaunâtre.	Vert-bleuâtre.
Idem.	Vert-bleuâtre.	Vert-jaunâtre.
Béril.	Blanc-bleuâtre.	Bleu.
—— vert.	Blanchâtre.	Vert-bleuâtre.
—— vert-jaunâtre.	Jaune pâle.	Vert pâle.
Cristal de roche presque transparent.	Blanchâtre.	Brun faible.
—— jaune.	Blanc-jaunâtre.	Jaune.

NOMS DES CRISTAUX	SECTION PRINCIPALE DANS LE PLAN DE POLARISATION.	SECTION PRINCIPALE PERPENDICULAIRE AU PLAN DE POLARISATION.
Améthyste.	Bleu.	Rose.
Idem.	Blanc-grisâtre.	Rouge-rubis.
Idem.	Jaune-rougeâtre.	Vert-bleuâtre.
Tourmaline.	Blanc-verdâtre.	Vert-bleuâtre.
Rubellite.	Blanc-rougeâtre.	Rouge faible.
Idocrase.	Jaune.	Vert.
Mellite.	Jaune.	Blanc-bleuâtre.
Apatite lilas.	Bleuâtre.	Rougeâtre.
—— olive.	Vert-bleuâtre.	Vert-jaunâtre.
Phosphate de plomb.	Vert brillant.	Jaune-orangé.
Spath d'Islande.	Jaune-orangé.	Blanc-jaunâtre.
Octaédrite.	Brun-blanchâtre.	Brun-jaunâtre.

(149.) Lorsque les cristaux ont deux axes de double réfraction, l'absorption des rayons incidens produit une foule de phénomènes sur les deux axes résultans, et près de ces axes; les phénomènes sont brillans dans l'*iolite*. Ce minéral qui cristallise en prismes à six et à douze pans, est d'un bleu foncé le long de l'axe, et d'un jaune brunâtre dans la direction perpendiculaire à l'axe du prisme. Lorsqu'on regarde le long des axes résultans, dont l'inclinaison mutuelle est de 62° 56', on voit un système d'anneaux assez distinct, quand la plaque est mince; mais lorsqu'elle est épaisse, et que le plan passant au travers des axes est dans le plan de polarisation primitive, on voit des branches de lumière bleue et blanche diverger en forme de croix, du centre du système d'anneaux. Cet effet curieux est représenté dans la figure 128, où P, P' sont les centres des deux systèmes d'anneaux, O l'axe principal négatif du cristal, et CD le plan qui passe par les axes. Les branches bleues, qui sont ombrées dans la figure, sont tachées de pourpre à leurs sommets P, P', et sont séparés, dans quelques échantillons, par de la lumière blanche, et dans d'autres, par de la lumière bleuâtre. De P et P' à O, la lumière blanche ou jaunâtre devient de plus en plus bleue; à O elle est entièrement bleue, mais de P et P' à C et D, elle devient de plus en plus jaune; à C et D elle est entièrement jaune, et le jaune est presque également brillant dans le plan ABCD, perpendiculaire à l'axe principal O. Lorsque le plan CD est per

pendiculaire au plan de polarisation primitive, l. pôles P, P' sont tachés de lumière blanche ou jaun[â]tre, mais partout ailleurs la lumière est d'un bl[eu] foncé.

En l'examinant dans la lumière ordinaire, [on] trouve que l'image ordinaire est jaune-brunâtre à et D, et l'extraordinaire bleu faible ; la premi[ère] acquérant quelques rayons bleus, la seconde qu[el]ques jaunes de C à D et de A à B, où il y a enco[re] une grande différence dans la couleur des image[s]. L'image jaune s'affaiblit de A à P et P', et de B à [O] et P', où elle devient bleu ; l'image bleue faible étant graduellement renforcée par d'autres rayons bleus, jusqu'à ce que l'intensité des deux images bleues, soit à peu près égale. L'intensité de l'image bleue augmente de C à P et de D à P', et la jaune reçoit une quantité additionnelle de lumière bleue, et d[e]vient blanc-bleuâtre de P et P' à O; l'image ordinai[re] est blanchâtre, et l'autre d'un bleu foncé ; mais blancheur diminue graduellement vers O, où l[es] deux images sont presque bleues. La table suivan[te] fera voir que cette propriété existe dans plusieu[rs] autres cristaux.

COULEURS DES DEUX IMAGES DANS LES CRISTAUX A DEUX AXES.

NOMS DES CRISTAUX.	PLAN DE L'AXE DANS LE PLAN DE POLARISATION.	PLAN DE L'AXE PERPENDICULAIRE AU PLAN de polarisation.
Topaze bleue.	Blanc.	Bleu.
—— verte.	Blanc.	Vert.
—— vert-bleuâtre.	Gris-rougeâtre.	Bleu.
—— rose.	Rose.	Blanc.
—— jaune-rosé.	Rose.	Jaune.
—— jaune.	Blanc-jaunâtre.	Orangé.
Sulfate de barite.		
—— pourpre-jaunâtre.	Jaune-citron.	Pourpre.
—— jaune.	Jaune-citron.	Blanc-jaunâtre.
—— jaune-orangé.	Jaune-gomme-gutte.	Blanc-jaunâtre.
Cyanite.	Blanc.	Bleu.
Dichroïte.	Bleu.	Blanc-jaunâtre.
Cymophane.	Blanc-jaunâtre.	Jaunâtre
Epidote vert-olive.	Brun.	Vert-de-mer.
—— vert-blanchâtre.	Blanc-rosé.	Blanc-jaunâtre.
Mica.	Brun-rouge.	Blanc-rougeâtre.

La table suivante donne les couleurs des images dans les cristaux à deux axes qu'on n'a pas examinés.

NOMS DES CRISTAUX.	AXE DU PRISME DANS LE PLAN DE POLARISATION.	AXE DU PRISME PERPENDICULAIRE AU PLAN de polarisation.
Mica.	Rouge de sang.	Jaune-verdâtre pâle.
Acetate de cuivre.	Bleu.	Jaune-verdâtre.
Muriate de cuivre (1).	Blanc-verdâtre.	Bleu.
Olivine.	Vert-bleuâtre.	Jaune-verdâtre.
Spath.	Jaune.	Bleuâtre.
Nitrate de cuivre.	Blanc-bleuâtre.	Bleu.
Chromate de plomb.	Orangé.	Rouge de sang.
Staurotide.	Rouge-brunâtre.	Blanc-jaunâtre.
Augite.	Rouge de sang.	Vert brillant.
Anhydrite.	Rose brillant.	Jaune pâle.
Axinite.	Blanc-rougeâtre.	Blanc-jaunâtre.
Diallage.	Blanc-brunâtre.	Blanc.
Soufre.	Jaune.	Jaune foncé.
Sulfate de strontite.	Bleu.	Blanc-bleuâtre.
—— de cobalt.	Rose.	Rouge de brique.
Olivine.	Brun.	Blanc-brunâtre.

(1) Les couleurs sont données par rapport à la courte diagonale de sa base rhomboïdale.

Dans les neuf derniers cristaux de la table précédente, les teintes ne sont pas données par rapport à une ligne fixe.

La liste suivante contient les couleurs des deux faisceaux dans les cristaux dont le nombre d'axes n'est pas encore connu.

NOMS DES CRISTAUX.	AXE DU PRISME DANS LE PLAN de polarisation.	AXE DU PRISME PERPENDICULAIRE AU PLAN de polarisation.
Prussiate de fer.	Beau bleu.	Blanc-bleuâtre.
Actynolithe.	Vert.	Blanc-verdâtre.
Opale précieuse.	Jaune.	Jaune léger.
Serpentine.	Vert foncé.	Vert léger.
Asbeste.	Verdâtre.	Jaunâtre.
Carbonate bleu de cuivre.	Bleu-violet.	Bleu-verdâtre.
Cristal de roche (un axe.)	Bleu-blanchâtre.	Bleu-jaunâtre.
Chlorure d'or et de sodium.	Jaune-citron.	Orangé foncé.
—— et d'ammonium.	Jaune-citron.	Orangé foncé.
—— et de platine.	Jaune-citron.	Orangé foncé.

(150.) En appliquant la chaleur à certains cristaux, j'ai produit une différence permanente dans la couleur des deux faisceaux formés par la double réfraction. Les expériences se font très-facilement sur la topaze du Brésil. Dans une de ces topazes dont un faisceau était jaune et l'autre rose, la chaleur portée au rouge agissait plus puissamment sur le faisceau extraordinaire que sur l'ordinaire, détruisant entièrement le jaune du premier, et n'altérant que très-peu le rose du second. Lorsque la topaze était chaude, elle ne produisait aucune couleur, mais en se refroidissant, elle prenait graduellement une teinte rose, qui ne pouvait être modifiée ou renouvelée par la plus grande chaleur. Dans diverses topazes, dont la couleur des faisceaux était la même, la chaleur ôtait plus de couleur à un faisceau qu'à un autre, et leur donnait ainsi le pouvoir d'absorber la lumière par rapport aux axes de double réfraction.

OBSERVATIONS GÉNÉRALES SUR LA DOUBLE RÉFRACTION.

(151.) Les divers faits que j'ai expliqués dans les chapitres précédens nous permettent de former des opinions très-plausibles sur l'origine et la nature de la structure double réfractrice. Les molécules des corps rendus fluides par la chaleur qui les empêche de former un corps solide, ne donnent pas de double réfraction : il en est de même des molécules des corps cristallisés qui renferment des métaux à l'état de solution. Cependant, dès que le refroidissement dans un cas et l'évaporation dans l'autre permet aux

molécules de se rassembler en vertu de leur affinité mutuelle, ces molécules ont acquis la structure double réfractrice, après l'action des forces qui les font se combiner. On peut expliquer cet effet de deux manières; en supposant que les molécules ont naturellement la structure double réfractrice, ou qu'elles n'en ont point de traces. Dans la première de ces suppositions, il faut attribuer la disparition de la double réfraction dans la masse fluide ainsi que dans la solution, à l'action opposée des molécules qui doivent avoir un axe dans chaque direction; mais comme la double réfraction n'est pas visible, il est *plus* raisonnable de supposer qu'elle n'existe pas dans les molécules. Dans la seconde supposition, que les molécules n'ont point de structure double réfractrice, on comprend facilement comment elle peut être produite par la pression de deux molécules jointes par l'attraction; car chaque molécule aura un axe de double réfraction dans la direction de la ligne qui joint leurs centres, comme si elles étaient comprimées par une force extérieure. En suivant cette idée, comme je l'ai fait autre part (1), j'ai prouvé comment on peut expliquer ces divers phénomènes par les forces attractives différentes de trois axes rectangulaires, qui peuvent produire un seul axe négatif, un seul positif, ou deux positifs ou néga-

(1) *Transactions philosophiques* de 1829, vol. VI, pages 328 et 337, ou *Journal des Sciences* d'Edimbourg, nouvelle série,

tifs, ou un positif et un négatif. L'influence de la chaleur, en changeant l'intensité des deux axes du sulfate de chaux, et en détruisant un de ses axes, ou bien en créant un nouveau, s'explique facilement d'après ces principes.

TROISIEME PARTIE.

DE L'APPLICATION DES PRINCIPES D'OPTIQUE A L'EXPLICATION DES PHENOMENES DE LA NATURE.

CHAPITRE XXXI.

De la réfraction extraordinaire.

(152.) L'atmosphère dans laquelle nous vivons est une masse d'air transparente qui possède la propriété de réfracter la lumière. On sait, par le baromètre, que sa densité diminue graduellement à mesure qu'on s'élève au-dessus de l'atmosphère, et comme nous savons, par une expérience directe, que la force réfractive de l'air augmente selon sa densité, il s'ensuit que la force réfractive de l'atmosphère est à son maximum à la surface de la terre, et diminue graduellement jusqu'à ce que l'air soit assez rare pour pouvoir à peine produire quelqu'effet sur la lumière. Lorsqu'un rayon de lumière tombe obliquement sur un milieu dont la densité varie ainsi, au lieu d'être détourné une seule fois de sa direction, il est graduellement courbé de plus en plus, de manière à se mouvoir en ligne courbe

de la même manière que si le milieu était composé d'une foule infinie de couches d'une force réfractrice différente. Pour expliquer ceci, soit E, fig. 129, la terre entourée d'une atmosphère ABCD, composée de quatre couches concentriques, de densités et de forces réfractrices différentes. La mesure de réfraction pour l'air à la surface de la terre étant 1,000294, supposons que la mesure des trois autres couches soit 1,000200, 1,000120, et 1,000050. Soit BED l'horizon, et S*n* un rayon qui, venant du soleil situé sous l'horizon, tombe en *n* sur la couche extérieure, dont la mesure de réfraction est 1,000050. Tirez la perpendiculaire E*nm*, et trouvez par la règle donnée précédemment, l'angle de réfraction E*na*, qui correspond à l'angle d'incidence S*nm*. Lorsque le rayon *na* tombe en *a* sur la seconde couche, dont la mesure de réfraction est 1,000120, on peut de la même manière, en menant la perpendiculaire E*ap* trouver le rayon réfracté *ab*. De la même manière on peut trouver les rayons réfractés *bc* et *cd*. Le même rayon S*n* a donc été réfracté en ligne brisée *nabcd*. et comme elle atteint l'œil dans la direction *cd*, on voit le soleil dans la direction *dc*S', élevé par la réfraction de l'atmosphère, au-dessus de l'horizon, quoiqu'il soit en dessous après son coucher. On peut prouver de la même manière que la réfraction fait paraître le soleil au-dessus de l'horizon, quoiqu'il soit en dessous après son coucher.

Quoique les rayons lumineux se meuvent en ligne droite dans le vide et dans tous les milieux

de densité uniforme, cependant, sur la surface du globe, les rayons qui viennent d'un corps éloigné doivent se mouvoir en ligne courbe, parce qu'ils doivent traverser des couches d'air de densité et de forces réfractrices différentes. Il s'ensuit qu'on ne peut voir aucun objet, planète ou étoile en dehors ou en dedans de notre atmosphère, à sa véritable place, excepté en ligne verticale.

Excepté dans les observations astronomiques et trigonométriques, où la plus grande exactitude est nécessaire, cette réfraction de l'atmosphère n'est point du tout gênante; mais puisque la densité de l'air et sa force réfractrice varient beaucoup lorsqu'on le chauffe ou qu'on le refroidit, les grandes chaleurs ou les grands froids produisent des grands changemens de force réfractrice, et donnent lieu à des phénomènes d'optique très-intéressans. Ces phénomènes ont reçu le nom de réfraction extraordinaire, et quelquefois ils sont si étonnans qu'ils paraissent plutôt produits par la magie que par des causes naturelles.

(153.) L'élévation des côtes, des montagnes et des vaisseaux vus au-dessus de la surface de la mer, a été très-souvent observée, et a reçu le nom de *looming* (apparition dans le brouillard ou dans le lointain). M. Huddart a décrit plusieurs cas de cette espèce, mais surtout une image renversée d'un vaisseau vue au-dessous du véritable. Le docteur Vince observa, à Ramsgate, un vaisseau dont les mâts seuls étaient au-dessus de l'horizon, et vit en même temps

dans le champ du télescope dont il se servait, deux images complètes du vaisseau dans l'air, toutes deux au-dessus du vaisseau, la plus haute étant droite, et l'inférieure renversée. Il dirigea alors son télescope vers un autre vaisseau, dont le corps était juste sur l'horizon, et il vit une image complète renversée dont le grand mât touchait celui du véritable vaisseau. Ces deux phénomènes sont représentés dans les figures 130 et 131, dans lesquelles (fig. 130) A est le véritable vaisseau, et B, C, les images produites par la réfraction extraordinaire. En regardant un autre vaisseau, le docteur Vince vit des images renversées de quelques-unes de ses parties qui paraissaient et disparaissaient soudainement, « paraissant d'abord, dit il, en dessous, et se relevant très-rapidement, montrant plus ou moins de mâts à mesure qu'elles paraissaient, ressemblant par la vitesse de leur apparition à la naissance d'un rayon de l'aurore boréale. » A mesure que le vaisseau descendait, l'image grandissait de plus en plus jusqu'à ce que l'image du vaisseau fût complète, les mâts se touchant. Plus le vaisseau descendait, plus l'image s'en éloignait, mais l'on n'en voyait point de seconde. Le docteur Vince vit, dans un autre cas, celui de la figure 131, la mer entre les vaisseaux B, C. A mesure que le vaisseau A s'élevait au-dessus de l'horizon, l'image C disparaissait graduellement; et pendant ce temps, l'image B descendait, mais le vaisseau ne parût pas assez près de l'horizon pour que les deux mâts se touchassent. Les deux

images étaient visibles lorsque le vaisseau entier était sous l'horizon.

Le capitaine Scoresby, en naviguant dans les mers du Groënland, observa plusieurs cas très-intéressans de réfraction extraordinaire. Le 28 juin 1820, il vit, du haut du mât, dix-huit vaisseaux à la distance de près de douze milles. L'un était allongé dans une direction verticale, un autre contracté dans la même direction, un autre avait une image renversée au-dessus, et deux autres avaient au-dessous d'eux deux images distinctes accompagnées de deux images des couches de glace. En 1822, le capitaine Scoresby reconnut le vaisseau de son père, la Renommée, à son image renversée dans l'air, *quoique le véritable vaisseau fût au-delà de l'horizon.* Il trouva ensuite que le vaisseau était à 17 milles sous l'horizon, et à 30 de lui. Dans tous ces cas, l'image était directement au-dessus de l'objet; mais le 17 septembre 1818, MM. Jurine et Soret, observèrent un cas de réfraction extraordinaire dans lequel l'image était à côté de l'objet. Une barque éloignée de 4000 toises approchait de Genève sur la gauche du lac, et en même temps on vit au-dessus de l'eau, une image des voiles, qui, au lieu de suivre la direction de la barque, s'en éloignait, et semblait approcher de Genève par la droite du lac, l'image allant de l'est à l'ouest, tandis que la barque allait du nord au sud. L'image était aussi grande que l'objet, lorsqu'elle s'éloigna de la barque, mais elle devenait de plus en plus petite, et n'avait que la moi-

tié de la grandeur de la barque, lorsqu'elle disparut.

Pendant que les Français marchaient dans les déserts sablonneux de la basse Egypte, ils observèrent plusieurs phénomènes de réfraction extraordinaire, auxquels ils donnèrent le nom de *mirage*. Lorsque la surface du sable était chauffée par le soleil, la terre paraissait être terminée à une certaine distance par une inondation générale. Les villages situés sur des éminences paraissaient autant d'îles au milieu d'un grand lac, et sous chaque village était son image renversée. A mesure que l'armée approchait des bornes de l'inondation apparente, le lac imaginaire se retirait, et la même illusion se répétait autour du village voisin; M. Monge, qui a décrit ces phénomènes dans ses *Mémoires sur l'Egypte*, les attribue à la réflexion d'une surface capable de réflexion, qu'il suppose avoir lieu entre deux couches d'air de densités différentes.

Le cas de mirage le plus remarquable fut observé par le docteur Vince. Un spectateur à Ramsgate avait vu le haut des quatre tours du château de Douvres, sur une hauteur entre Ramsgate et Douvres; le 6 août 1806, à sept heures de l'après-midi, le docteur Vince vit tout le château de Douvres, comme si on l'avait placé sur le côté de la hauteur qui regarde Ramsgate. L'image était si forte, qu'on ne voyait pas la hauteur au travers.

Il est clair que la célèbre *fata morgana* qu'on voit dans le détroit de Messine, et qui a étonné le

vulgaire et embarrassé les philosophes pendant plusieurs siècles, est un phénomène de cette sorte. Un spectateur, sur une éminence de la ville de Reggio, tournant le dos au soleil et la figure vers la mer, lorsque le soleil luit et brille au point d'où son rayon incident forme un angle de 45° avec la mer de Reggio, voit sur l'eau une foule innombrable de pilastres, d'arches, de châteaux bien dessinés, de colonnes régulières, de hautes tours; des palais superbes avec des balcons et des fenêtres; des villages et des arbres; des plaines avec des troupeaux; des troupes d'hommes à pied et à cheval, le tout passant rapidement sur la mer. Dans des situations particulières de l'atmosphère, on voit les mêmes objets dans l'air, quoiqu'ils soient moins brillans, et lorsque l'air est brumeux, on les voit sur la surface de la mer, brillamment colorés, ou bordés des couleurs prismatiques.

(154.) On peut prouver par diverses expériences que ces phénomènes sont produits par la réfraction, à travers des couches d'air de densités différentes. Pour le prouver, le docteur Wollaston versa dans une fiole carrée (fig. 132) une petite quantité de sirop clair, et au-dessus il versa la même quantité d'eau, qui se combina graduellement avec le sirop, comme en A. Le mot sirop, écrit sur une carte placée derrière la bouteille, paraissait droit, vu au travers du sirop pur; et renversé, comme dans la figure, au travers du mélange d'eau et de sirop. Le docteur Wollaston mit à peu près la même quantité d'esprit de vin

rectifié, comme en B, même figure, et vit l'effet qu'on y a représenté; la vraie place du mot alcool, et ses images renversées et droites en dessous.

On peut voir des phénomènes analogues en regardant les objets sur la surface d'une pelle chauffée ou le long d'un mur, ou d'une planche peinte chauffée par le soleil.

Feu M. A. Blackadder a décrit plusieurs phénomènes de mirage vertical et latéral, vus au bastion du roi Georges, à Leith, et qui sont très-instructifs. Le boulevard étendu, dont ce bastion est la partie centrale, est construit en gros blocs de grès, et c'est du bastion à la partie orientale, qu'on voit le mieux ces phénomènes. A l'est de la tour, le boulevard s'étend en ligne droite, à la distance de 500 pieds (152398 millimèt.); il a huit pieds (2438 millimèt.) de hauteur, du côté de la terre, avec un chemin large de deux pieds (610 millimètres), et à trois pieds (914 millimètres) de terre. Le parapet est large de trois pieds (914 millimètres) au sommet; il est légèrement incliné vers la mer.

Lorsque le temps est favorable, le haut du parapet ressemble à un miroir, ou plutôt à une couche de glace; et si alors une personne se promène dessus, l'observateur placé à quelque distance voit une image renversée de cette personne. Si, pendant qu'il est sur le chemin, une autre personne s'y trouve à quelque distance, la figure tournée vers la mer, son image se trouve devant elle, et fait comme deux personnes qui causent ou qui s'abordent. Si pendant qu'il est sur le

chemin il regarde, dans la direction opposée à la tour, et qu'une autre personne traverse l'extrémité orientale du boulevard, par-dessus la vanne en allant à la mer, ou en revenant de la mer, il croit voir deux personnes se mouvoir dans des directions opposées, ce qui constitue ce qu'on appelle le mirage latéral; on en voit d'abord une se mouvoir, puis l'autre dans la direction opposée, avec quelque intervalle entr'elles. En regardant par-dessus le parapet, les objets éloignés sont modifiés de diverses manières, les montagnes (de Fife) sont changées en ponts immenses, et en allant à l'extrémité orientale du boulevard, elle paraît curieusement modifiée, une partie semblant coupée et abattue, de manière à former une tour petite et élégante, comme certains monumens sépulchraux. D'autres fois elle ressemble exactement à un ancien autel dont la flamme semble brûler avec une grande intensité (1).

(155.) Pour expliquer aussi clairement que possible comment l'image droite ou renversée d'un vaisseau est produite dans la figure 131, soit SP (fig. 133) un vaisseau à l'horizon, vu en E au moyen des rayons SE, PE, passant en ligne droite dans une masse d'air de densité uniforme, qui se trouve entre l'œil et le vaisseau. Si l'air est plus rare à c qu'à a, ce qui peut être produit par la fraîcheur de la mer, au-dessous de a, sa force réfractrice est moindre à c qu'à a; dans ce cas, les

(1) Journal des Sciences d'Edimbourg, N° V, page 19.

rayons S*d*, P*e*, qui dans des circonstances ordinaires n'auraient jamais pu atteindre l'œil à E, sont courbés suivant les lignes courbes P*c*, S*d*; et si la variation de densité est telle que le rayon supérieur S*d* coupe l'autre en un point *x*, S*d* se trouve l'inférieur et arrive à l'œil placé à E, comme s'il venait de l'extrémité inférieure de l'objet. Si E*p*, E*s*, sont tangentes à ces courbes ou rayons au point où ils entrent dans l'œil, la partie S du vaisseau est vue dans la direction E*s*, et la partie P dans la direction E*p*, c'est-à-dire que l'image *sp* est *renversée*. De la même manière, d'autres rayons S*n*, P*m*, peuvent être courbés dans les directions S*n*E, P*m*E, qui ne se coupent pas, de sorte que E*s'*, tangente à la courbe ou au rayon S*n*, est supérieure, et la tangente E*p'* inférieure. Ainsi, l'œil placé en E, voit à *s'p'* une image droite au-dessus de l'image renrvesée *sp*, comme dans la figure 131. Il est clair que l'état de l'air peut ne faire voir qu'une de ces images, et que ces phénomènes peuvent être tous vus, lorsque le vrai vaisseau est sous l'atmosphère.

Dans une des observations du capitaine Scoresby, nous avons vu que le vaisseau était allongé ou grandi dans une direction verticale, tandis qu'un autre était contracté ou *rétréci* dans la même direction. S'il existait une cause, ce qui est très-probable, qui allongeât le vaisseau à la fois horizontalement et verticalement, l'effet serait semblable à celui d'une lentille convexe, le vaisseau paraitrait grandi, et pourrait être reconnu à une distance bien éloignée

des limites de la vue simple : ce cas paraît être arrivé. Le 26 juillet 1798, à cinq heures de l'après-midi, M. Latham, à Hastings, vit les côtes de France, qui sont éloignées de 40 ou 50 milles, aussi distinctement qu'avec la meilleure lunette. Les marins et pêcheurs ne pouvaient d'abord se convaincre de la réalité de cette apparition, mais les rochers s'élevant de plus en plus, ils en furent si bien convaincus, qu'ils montrèrent à M. Latham les endroits qu'ils étaient accoutumés à visiter, comme la baie et le moulin de Boulogne, St-Valéry, et d'autres endroits sur les côtes de Picardie. Tous ces endroits leur paraissaient comme s'ils étaient en mer à quelque distance. Du rocher oriental, M. Latham vit à la fois Dungeness, les rochers de Douvres et les côtes de France, depuis Calais et Boulogne jusqu'à Saint-Valéry, et à ce que disaient quelques pêcheurs, jusqu'à Dieppe. La journée était très-chaude, sans un souffle de vent, et les objets à quelque distance paraissaient très-grossis.

On peut expliquer cette sorte de phénomène, comme je l'ai dit autre part (1), en tenant une masse de fer chaud au-dessus d'une épaisseur considérable d'eau placée dans un vaisseau de verre avec des plaques de verre parallèles. En retirant le fer chaud, la gradation de densité augmentant en bas est accompagnée d'un décroissement de densité à la surface, et l'on peut voir les phénomènes du mirage dans un semblable milieu.

(1) *Encyclopédie d'Edimbourg*, art. Chaleur.

(256.) Je crois qu'il n'est pas douteux
sieurs phénomènes attribués à la réfraction
dinaire, sont dus à une réflexion extraor
qui provient d'une différence de densité. S
servateur placé au-delà de l'atmosphère à S (
regarderait un composé de couches de différe
ces réfractrices, comme dans la figure, il
que la lumière du soleil serait réfléchie à so
au travers des limites de chaque couche, et
chose arriverait si la variation de force r
était parfaitement graduelle. Des cas bie
de cette sorte manquent pour nous perme
pliquer les lois de ces phénomènes; mais le
vant, observé par le docteur Buchan, est
qu'il ne laisse point de doute sur son
« Me promenant, dit-il, sur le rocher, à
(1600 mètres) à l'est de Brighton, le 18 m
au matin, en regardant le lever du soleil,
les yeux directement sur la mer, au mom
disque solaire sortait de la surface de l'eau
le devant du rocher sur lequel j'étais, repré
à-vis de moi à quelque distance sur l'Océ
lant l'attention de mes compagnons sur c
même, nous vîmes bientôt nos figures sur l
du faux rocher, ainsi que l'image d'un m
de là. Les images réfléchies étaient les plus
vis-à vis l'endroit où nous étions, et le fa
semblait s'évanouir et s'approcher du véritu
tant qu'il s'éloignait vers l'ouest. Le pl
dura près de dix minutes, jusqu'à ce que l
fut élevé d'à peu près son diamètre; le to

ors s'élever en l'air, et disparut successivement, même lorsqu'on lève la toile d'un théâtre. La surface de la mer était couverte d'un brouillard épais, de huit ou neuf *yards* (1) de hauteur, et que dissipaient graduellement les rayons du soleil, qui tombaient sur le rocher à une incidence de 75° à partir de la perpendiculaire.

CHAPITRE XXXII.

De l'Arc-en-ciel.

(137.) Chacun sait que l'arc-en-ciel est un arc lumineux qui s'étend dans la partie du ciel opposée au soleil. Dans des cas très-favorables, on voit deux arcs, l'intérieur et l'extérieur, ou le *primaire* et le *secondaire*, et l'on a vu des arcs surnuméraires en dehors du primaire, en contact avec lui, ou en dehors du secondaire.

L'arc-en-ciel primaire ou intérieur qu'on voit ordinairement seul, est l'arc d'un cercle dont le rayon est de 41°. Il se compose de sept arcs colorés qui ont le *violet* qui est en dedans, l'*indigo*, le *bleu*, le *vert*, le *jaune*, l'*orange* et le *rouge* qui est en dehors. Les couleurs ont la même largeur *proportionnelle* que les espaces colorés du spectre prismatique. Cet arc n'est donc qu'un nombre infini de spectres prismatiques, arrangés en circonférence de cercle; et il serait facile en arrangeant des prismes

(1) L'*yard* vaut à peu près 91 millim. 440.

circulairement, ou en couvrant toutes les parties centrales d'une grosse lentille, de produire un petit arc exactement composé des mêmes couleurs. Ainsi, tout ce qu'il faut pour produire l'arc-en-ciel est un grand nombre de corps transparens, capables de produire un grand nombre de spectres prismatiques à la lumière du soleil.

Comme on ne voit ordinairement l'arc-en-ciel que lorsqu'il tombe de la pluie entre le spectateur et la partie du ciel opposée au soleil, nous sommes portés à croire que les corps transparens sont des gouttes d'eau qu'on sait être de petites sphères. Si l'on regarde dans un globe de verre ou d'eau, placé au-dessus de la tête et opposé au soleil, on voit un spectre prismatique réfléchi par la partie la plus éloignée du globe. Dans ce spectre, le *violet* est en dedans, et le spectre est vertical. Si le globe est horizontal et au même niveau de l'œil, de manière à voir la lumière solaire réfléchie dans un plan horizontal, on voit un spectre horizontal, le *violet* en dedans. De même, si le globe est placé dans une position intermédiaire, de manière à réfléchir la lumière solaire dans un plan incliné de 45° par rapport à l'horizon, on voit un spectre incliné de 45° par rapport à l'horizon, et le violet en dedans. Or, puisque pendant la pluie il y a des gouttes dans chaque position relative à l'œil, l'œil reçoit des spectres inclinés à tous les angles par rapport à l'horizon, et leur combinaison forme le grand spectre circulaire qui constitue l'arc-en-ciel.

Pour l'expliquer plus clairement, soit E, F

(*fig.* 134), des gouttes de pluie exposées aux rayons du soleil, incidens suivant les directions RE, RF; hors de la masse de lumière qui tombe sur la goutte, les rayons qui passent au travers, ou auprès de l'axe, de la goutte, sont réfractés à un foyer situé derrière; mais ceux qui tombent sur la partie supérieure de la goutte sont réfractés, les *rouges* le moins et les *violets* le plus, et tombent sur le dos de la goutte avec assez d'obliquité pour que quelques rayons soient réfléchis comme dans la figure. Les rayons sont encore réfractés, et atteignent, en O, l'œil qui voit un spectre ou image prismatique, le *rouge* en haut et le *violet* en bas. Si le soleil, l'œil et les gouttes *E, F,* sont dans le même plan vertical, le spectre produit par E, F, forme les couleurs du sommet de l'arc, comme dans la figure. Supposons maintenant qu'une goutte soit près de l'horizon, de sorte que l'œil, la goutte et le soleil soient dans un plan incliné par rapport à l'horizon; un rayon de la lumière du soleil est réfléchi de la même manière qu'à E, F, avec cette différence que le plan de réflexion est incliné par rapport à l'horizon, et forme une partie de l'arc éloigné du sommet. Ainsi, il est clair que les gouttes de pluie placées au-dessus de la ligne qui joint l'œil et le sommet de l'arc, et dans le plan qui passe par l'œil et le soleil, forment le sommet de l'arc; et les gouttes placées à droite et à gauche de l'observateur et en dehors de la ligne qui joint l'œil et la partie inférieure de l'arc, forment la partie inférieure de l'arc de chaque côté. Ainsi, aucune

des gouttes entre l'œil et l'espace en dedans ne contribue à la produire ; de sorte que si la pluie tombait régulièrement d'un nuage, on verrait l'arc-en-ciel avant qu'une seule goutte tombât à terre.

Si l'on calcule l'inclinaison du rayon *rouge* et du *violet* par rapport aux rayons incidens RE, RF, on trouve qu'elle est de 42° 2' pour le *rouge*, et 40° 17' pour le *violet* ; de sorte que la largeur de l'arc-en-ciel est égale à la différence de ces nombres, ou 1°.45, ou près de trois fois et demie le diamètre du soleil. Ces résultats coïncident si bien avec l'observation, qu'ils ne laissent point de doute que l'arc-en-ciel primaire ne soit produit par deux réfractions et une réflexion intermédiaire des rayons qui tombent sur la partie supérieure des gouttes de pluie.

Il est clair que les rayons *rouges* et *violets* éprouvent une seconde réflexion aux points où ils sont représentés quittant la goutte ; ces rayons réfléchis se perdent dans le ciel et ne peuvent atteindre l'œil placé en O. Mais quoique cela arrive pour les rayons qui entrent dans la partie supérieure de la goutte, comme à E, F, ou dans le côté le plus éloigné de l'œil ; ceux qui y entrent par le côté inférieur ou le plus près de l'œil, peuvent, après deux réflexions, atteindre l'œil comme dans les gouttes H, G, où les rayons R, R entrent dans les gouttes par en dessous. Les rayons *rouges* et *violets* sont réfractés dans différentes directions, et après, deux réflexions sont réfractés vers l'œil placé en O, le *violet* formant la partie supérieure, et le *rouge* la partie

inférieure du spectre. Si l'on calcule l'inclinaison de ces rayons par rapport aux rayons incidens R, R, on trouve qu'elle est de 50° 58' pour le rayon *rouge*, et de 54° 10' pour le *violet*; leur différence, ou 3° 10' est la largeur de l'arc, et la distance des deux arcs est de 8° 15'. Ainsi, il est clair qu'un arc secondaire est formé en dehors de l'arc primaire, et les couleurs renversées, parce qu'elles sont produites par deux réflexions et deux réfractions. La largeur de l'arc secondaire est presque le double de celle du primaire, et ses couleurs sont beaucoup plus faibles, parce que la lumière qui les compose a subi deux réflexions au lieu d'une.

(158.) Sir Isaac Newton trouva que le rayon de l'arc intérieur est de 32°, sa largeur de 2° 10', et sa distance de l'arc extérieur, de 8° 10', résultats qui s'accordent si bien avec ceux qu'on a calculés, qu'ils ne laissent point de doute sur la vérité de l'explication que nous venons de donner; mais s'il faut encore plus d'évidence, on peut la trouver dans le fait que j'ai observé en 1812, que *la lumière des deux arcs est entièrement polarisée dans les plans qui passent par l'œil et les rayons des arcs.* Le résultat démontre que les arcs sont formés, par la réflexion à l'angle de polarisation ou auprès, par la surface d'un corps transparent. La production d'arcs-en-ciel artificiels par le brouillard d'une chute d'eau, ou une foule de gouttes d'eau lancées par un jet d'eau ou une seringue, est une autre preuve de l'explication précédente. On voit quelquefois des arcs-

en-ciel *lunaires*, mais les couleurs sont faibles et à peine perceptibles. En 1814, je vis à Berne un arc en-ciel de *brouillard*. Il ressemblait à un arc nébuleux, et ses couleurs étaient invisibles.

(159.) Le 5 juillet 1828, j'observai trois arcs surnuméraires en dedans du primaire, chacun composé d'arcs *rouges* et *verts* et en contact avec le *violet* de l'arc primaire. En dehors de l'arc extérieur ou secondaire, je vis distinctement un arc *rouge*, et au-delà un arc très-faible, formant un arc surnuméraire analogue à ceux situés en dedans de l'arc-en-ciel primaire.

Le docteur Halley a prouvé que l'arc-en-ciel formé par *trois* réflexions des gouttes, entoure le soleil lui-même à une distance de 40° 20', et que l'arc-en-ciel formé par quatre réflexions l'entoure aussi à la distance de 45° 33'. Les arcs formés par *cinq* réflexions sont en partie couverts par l'arc secondaire. La lumière qui forme ces trois arcs est trop faible pour faire impression sur nos organes, c'est pourquoi on n'a jamais vu d'arcs-en-ciel semblables.

On a vu et décrit plusieurs arcs-en-ciel particuliers. Le 10 août 1655, on vit à Chartres un faux arc-en-ciel, traversant l'arc primaire à son sommet. Il provenait d'une réflexion de la rivière.

Le 6 août 1698, le docteur Halley se promenant sur les remparts de Chester, observa un arc-en-ciel remarquable, représenté dans la figure 135, où ABC est l'arc-en-ciel primaire, DHE le secondaire et AFHGC un autre arc coupant l'arc secondaire

HE, et le divisant en trois parties presqu'égales. Le docteur Halley remarqua que les points F, G s'élevaient, et que l'arc FG se contractait graduellement, jusqu'à ce qu'enfin les arcs FG et FHG coïncidèrent, de sorte que l'iris secondaire perdit ses couleurs dans un grand espace, et parut au sommet comme un arc *blanc*. Le nouvel arc AHC avait ses couleurs disposées dans le même ordre que dans le primaire ABC, et par conséquent dans un ordre inverse à celui de l'arc secondaire ; ensorte que les deux spectres opposés à G et F se détruisaient mutuellement et produisaient le blanc. Le soleil brillait alors sur la rivière Dee qui n'était point agitée, et le docteur Halley trouva que l'arc AHC n'était que la partie du cercle de l'arc primaire qui aurait été sous le château, et qui était recourbé en haut par la réflexion de la rivière. Un troisième arc-en-ciel, vu entre deux arcs ordinaires, et concentrique avec eux, est décrit dans le journal de Rozier ; c'est sans doute le même phénomène que celui observé par le docteur Halley.

On a vu des arcs-en-ciel rouges, difformes, ou renversés sur l'herbe. Ces derniers sont formés par les gouttes d'eau suspendues sur les toiles d'araignées dans les champs.

CHAPITRE XXXIII.

Halos, Couronnes, Parélies et Paraselènes.

(160.) Lorsque le soleil et la lune sont vus dans un ciel clair, ils montrent leurs disques lumineux sans changemens de couleurs et sans phénomènes. Dans d'autres situations de l'atmosphère, non-seulement ces deux astres changent de couleur, mais encore ils sont entourés d'une foule de cercles lumineux différens de formes et de grandeurs. Quand l'air est chargé d'exhalaisons sèches, le soleil est quelquefois aussi rouge que du sang. Lorsqu'on le voit à travers des vapeurs aqueuses, il est dépouillé de ses rayons, mais il conserve son disque blanc et sans couleur; quelquefois dans un autre état de l'atmosphère, j'ai vu le soleil d'une couleur brillante de saumon. Quand de légers nuages cotonneux passent sur le soleil ou sur la lune, ils se trouvent souvent entourés de *un*, *deux*, *trois* ou même plus d'anneaux colorés semblables à ceux de plaques minces; dans les temps froids, lorsque des particules glacées flottent dans les plus hautes régions, ces deux corps lumineux sont fréquemment entourés des phénomènes les plus compliqués, consistant en cercles concentriques, cercles passant à travers leurs disques, segmens de cercles et faux soleils formés aux points d'intersection de ces différens cercles.

On donne indistinctement le nom d'*halos* à tous ces phénomènes, soit ceux qui surviennent autour du soleil, soit ceux qui surviennent autour de la lune. On les appelle *parélies* quand ils sont produits par le soleil, et *paraselènes* quand ils sont produits autour de la lune. On nomme aussi *couronnes* les petits *halos* que le soleil ou la lune forment, dans les beaux temps, sur les légers nuages cotonneux dont ces astres sont partiellement recouverts. Ils sont très-communs autour du soleil; mais à raison du grand éclat de ses rayons, on les voit plus aisément dans la réflexion d'une eau tranquille. En juin 1692, sir Isaac Newton observa, par la réflexion sur de l'eau tranquille contenue dans un vase, trois anneaux colorés et semblables à trois petits arcs-en-ciel autour du soleil. Les couleurs du premier anneau intérieur, étaient *bleu* près du soleil, *rouge* en dehors, et *blanc* dans le milieu entre bleu et rouge. Les couleurs du second anneau étaient *pourpre* et *bleu* en dedans, *rouge pâle* en dehors, et *vert* dans le milieu. Les couleurs du troisième anneau étaient *bleu pâle* en dedans et *rouge pâle* en dehors. Les couleurs et les diamètres de ces anneaux sont notés en détail dans le tableau que voici :

		Diamètre.
1er anneau.	Bleu, blanc, rouge.	5° à 6°
2e anneau.	pourpre, bleu, vert, jaune pâle, rouge.	10° 1/4
3e anneau.	Bleu pale, rouge pâle.	12° 33'

Le 19 février 1664, sir Isaac Newton vit autour de la lune un halo de deux anneaux, ainsi qu'il suit :

		Diamètre.
1er anneau.	Blanc, bleuâtre, vert, jaune, rouge.	3°
2e anneau	Bleu, vert, rouge.	5° 1/2

Sir Isaac Newton considère ces anneaux comme formés par la lumière passant à travers de petites gouttes d'eau de la même manière que les couleurs des plaques minces. En supposant que les globules d'eau soient de 1/500 de pouce (2 mill. 0507) de diamètre, il trouva que les diamètres des anneaux devaient être :

	Diamètre.
1er anneau rouge.	7° 1/4.
2e anneau rouge	10° 1/4.
3e anneau rouge.	12° 33'

Les anneaux grossissent à mesure que les globules diminuent, et diminuent quand les globules grossissent.

Les halos autour du soleil et de la lune qui ont été le plus remarqués, sont ceux de 47° et de 94° de diamètre. Afin d'en donner une idée exacte, nous allons entrer dans les détails de la description d'un halo parélie et d'un halo paraselène.

Voici le rapport original d'un *parélie* vu par Scheiner en 1630 :

(161.) « Le diamètre du cercle MRN, situé près du soleil (fig. 136), était de près de 45°, et celui du

cercle ORP de près de 95° 20'; ils étaient colorés comme l'arc-en-ciel primaire, mais le rouge était du côté du soleil, et les autres couleurs dans l'ordre ordinaire. Les largeurs de tous les arcs étaient égales et à peu près le tiers du diamètre du soleil, comme dans la figure 136, quoique je ne puisse pas dire si le cercle blanchâtre OGP, parallèle à l'horizon, n'était pas plus large que le reste. Les deux parallèles M, N étaient assez brillans, ceux de O et P ne l'étaient pas autant. M et N étaient d'un rouge pourpré du côté du soleil, et blancs de tous les autres côtés; O et P étaient entièrement blancs. Ils ne finirent pas ensemble, car P, qui brillait très-faiblement, fut le premier qui disparut, étant couvert par quelques nuages assez épais. Le parélie O dura long-temps, quoique faible. Les deux parélies latéraux M, N, durèrent constamment pendant trois heures. M était languissant et disparut le premier après quelques efforts; mais N dura encore au moins une heure. Quoique je ne le vis point disparaître, je suis sûr que ce fut le seul qui accompagna le véritable soleil pendant long-temps, ayant échappé aux nuages et vapeurs qui avaient éteint les autres. Cependant il disparut lors d'une averse de pluie. Ce phénomène dura au moins 4 heures et demie, et comme il était parfait lorsque je l'aperçus, je pense que sa durée fut de plus de cinq heures.

« Les parélies Q, R étaient situés dans un plan vertical passant au travers de l'œil placé en F et du soleil en G; dans ce plan les arcs HRG, QRP se cou-

paient ou se touchaient. Ces parél
plus brillans, tantôt plus faibles qu
n'étaient point si parfaits par leu
couleur blanchâtre. Ils variaient
en couleur, selon la température
à G, et la matière qui la recevait à
pourquoi leur lumière et leur coul
que toujours indécises, et étaient
dans une agitation perpétuelle. Je re
qu'ils paraissaient les premiers et
parélies, excepté N.

Les arcs qui composaient le petit
du soleil, semblaient à l'œil former
conférence, mais elle était confuse e
inégal, sans être constamment co
jours au contraire en agitation. El
en réalité de trois arcs, ainsi qu'on
figure, car je l'ai observée avec soin d
Ces arcs se coupent en un point Q e
parélie. Les parélies M, N brillaie
intersections communes du halo intér
cle blanchâtre GNMP.

(162.) Le 30 mars 1660, à une he
Hévelius observa à Dantzik la parase
figure 137. La lune A était entourée

(1) Les quatre cercles qui forment en se co
intérieur, sont décrits de quatre centres dont ch
des angles du petit carré.

e la grande variété
rend en gelant, que
dans un état trans-
a forme de cristaux
omme des aiguilles,
mples et composés,
s, tombent souvent
. quelquefois en pas-
es plus basses et les
n de cylindres sup-
nomènes principaux

h et autres, se sont
45° ou 46° de dia-
mes de glace, à angles
l'air, leurs angles de
s directions. Les cris-
les angles semblables,
des rayons réfractés
ns sur de tels prismes,
action de la glace, de
de 21°, 50', dont le
xpliquer le plus grand
se que les rayons qui
r le prisme, peuvent
t que l'effet est dou-
, de manière à pro-
Mais cela n'est point
r Young a avoué la
e » de la pensée de

paient ou se touchaient. Ces parélies étaient tantôt plus brillans, tantôt plus faibles que le reste, mais ils n'étaient point si parfaits par leur forme et leur couleur blanchâtre. Ils variaient en grandeur et en couleur, selon la température du soleil placé à G, et la matière qui la recevait à Q et à R; c'est pourquoi leur lumière et leur couleur étaient presque toujours indécises, et étaient pour ainsi dire dans une agitation perpétuelle. Je remarquai surtout qu'ils paraissaient les premiers et les derniers des parélies, excepté N.

Les arcs qui composaient le petit halo MN, près du soleil, semblaient à l'œil former une seule circonférence, mais elle était confuse et d'un diamètre inégal, sans être constamment continue, et toujours au contraire en agitation. Elle se composait en réalité de trois arcs, ainsi qu'on le voit dans la figure, car je l'ai observée avec soin dans ce but (1). Ces arcs se coupent en un point Q et y forment un parélie. Les parélies M, N brillaient à partir des intersections communes du halo intérieur et du cercle blanchâtre GNMP.

(162.) Le 30 mars 1660, à une heure du matin, Hévelius observa à Dantzik la paraselène dessinée figure 137. La lune A était entourée par un cercle

(1) Les quatre cercles qui forment en se coupant le halo intérieur, sont décrits de quatre centres dont chacun est à l'un des angles du petit carré.

entier blanchâtre BCDE, dans lequel se trouvaient deux fausses lunes B, D, chacune de chaque côté de la lune, composées de diverses couleurs et lançant par momens une longue traînée de lumière blanchâtre. Sur les deux heures, un cercle plus large entoura le cercle plus étroit et s'étendit à l'horizon. Les extrémités des deux cercles étaient tangentes à des arcs colorés semblables à des arcs-en-ciel renversés. L'arc inférieur en C était une portion d'un large cercle, et l'arc supérieur en F une portion d'un cercle moindre. Ce phénomène disparut sur les trois heures. Le grand cercle extérieur disparut d'abord, puis l'arc renversé en C, puis l'arc supérieur moindre, puis enfin tout le cercle intérieur BCDE; le diamètre de ce cercle intérieur et celui de l'arc supérieur était de 45°, et celui du cercle extérieur et de l'arc inférieur était de 90°.

Dans une autre occasion Hévelius observa une large croix blanche rectangulaire, passant à travers le disque de la lune, la lune étant au centre de la croix, et environnée d'un halo entièrement semblable au cercle inférieur de la figure 137.

(163.) Comme on voit souvent les halos de 47° et de 94° dans des temps froids et surtout dans la partie septentrionale de notre globe, on croit qu'ils sont produits par des cristaux de glace et de neige flottant en l'air. Descartes supposa qu'ils étaient formés par la réfraction d'étoiles plates de glace transparente; Huygens, qui s'occupa de ce sujet, par expérience et par théorie, a publié une théorie rai-

sonnée des halos, dans laquelle il suppose l'existence de grêlons dont les uns sont ronds et d'autres cylindriques, avec un noyau opaque, dans une certaine proportion avec le reste. Il suppose que ces cylindres sont dans une position verticale, où ils sont maintenus par des courans ascendans d'air ou de vapeur, et que leurs arcs soit à toutes les inclinaisons possibles par rapport à l'horizon, lorsqu'ils sont dispersés par le vent ou par d'autres causes. Il pense que ces cylindres ont été d'abord un assemblage globuleux des parties les plus pures et les plus molles de la neige; au fond s'attachent d'autres molécules, les courans ascendans les empêchant de s'attacher aux côtés, et elles prennent une forme cylindrique. Huygens suppose alors que la partie extérieure des cylindres peut être fondue par la lumière du soleil, un petit cylindre restant au centre, et que si la partie fondue est gelée de nouveau, elle peut avoir assez de transparence pour réfracter et réfléchir les rayons du soleil d'une manière régulière. A l'aide de cet appareil dont l'existence n'est point impossible, Huygens a donné une belle solution de toutes les difficultés qu'on a rencontrées en expliquant l'origine des halos.

Sir Isaac Newton regardait le halo de 45° comme produit par une cause différente de celle des petites couronnes prismatiques, et il pensait qu'il était produit par la réfraction « de quelque sorte de grêle ou de neige, flottant horizontalement dans l'air, l'angle de réfraction étant de 58° ou 60°. »

Cependant, lorsqu'on considère la grande variété de formes cristallines que l'eau prend en gelant, que ces cristaux existent réellement dans un état transparent dans l'atmosphère, sous la forme de cristaux de glace qui piquent la peau comme des aiguilles, et que des cristaux de neige simples et composés, de toutes les formes imaginables, tombent souvent dans l'atmosphère, et se fondent quelquefois en passant au travers de ses couches les plus basses et les plus chaudes, on n'a pas besoin de cylindres supposés pour expliquer les phénomènes principaux des halos.

Mariotte, Young, Cavendish et autres, se sont accordés à attribuer le halo de 45° ou 46° de diamètre, à la réfaction par des prismes de glace, à angles de réfraction de 60°, flottant en l'air, leurs angles de réfraction étant dans toutes les directions. Les cristaux de la gelée blanche ont des angles semblables, et si l'on calcule la déviation des rayons réfractés du soleil ou de la lune, incidens sur de tels prismes, en prenant la mesure de réfraction de la glace, de 1,31, on trouve qu'elle est de 21°, 50', dont le double est de 43°, 40'. Pour expliquer le plus grand halo, le docteur Young suppose que les rayons qui ont été une fois réfractés par le prisme, peuvent tomber sur d'autres prismes, et que l'effet est doublé par une seconde réfraction, de manière à produire une déviation de 90°. Mais cela n'est point du tout probable, et le docteur Young a avoué la « grande probabilité apparente » de la pensée de

M. Cavendish, que le halo extérieur peut être produit par la réfraction des terminaisons rectangulaires des cristaux ; avec une mesure de réfraction de 1,31, cela donnerait une déviation de 45° 44', ou un diamètre de 91° 28', et la moyenne de plusieurs mesures prise avec soin est 91° 40', coïncidence très-remarquable.

L'existence du prisme à terminaisons rectangulaires de cette sorte est encore hypothétique, mais j'ai détruit cette difficulté en observant dans la gelée blanche sur les pierres, les feuilles et le bois, des cristaux de glace quadrangulaires et réguliers, et simples ou composés.

Quoiqu'en général les halos soient représentés comme des cercles ayant pour centre le soleil ou la lune, cependant leur forme apparente est ordinairement un ovale irrégulier plus large en dessous qu'en dessus, le soleil étant plus près de leur extrémité supérieure que de leur extrémité inférieure. Le docteur Smith a reconnu que c'est une illusion d'optique à laquelle contribue la forme apparente du ciel, et il présume que lorsque le cercle touche l'horizon, son diamètre vertical apparent est divisé par la lune dans la proportion de 2 à 3, ou 3 à 4, et son diamètre horizontal dessiné à travers la lune, environ comme 4 est à 3.

Dans le dessein de m'assurer si quelques-uns des halos sont formés par réflexion, je les ai examinés avec des prismes doublement réfracteurs, et j'ai trou-

vé que la lumière qui les forme ne souffrait pas de réflexion.

La production des halos peut se comprendre, par expérience, en faisant cristalliser différens sels sur des plaques de verre, et regardant à travers ces plaques soit le soleil, soit la lumière d'une chandelle. Lorsque la cristallisation est granuleuse et convenablement formée, elle produit les plus beaux effets. Quelques gouttes de solution saturée d'étain, par exemple, étendues sur une plaque de verre de manière à cristalliser paisiblement, la recouvriront d'une espèce de croûte consistant en cristaux octaèdre plats, à peine visibles à l'œil. Quand l'observateur, en plaçant son œil derrière le côté uni du verre, regarde à travers le verre et sa couche d'alun cristallisé, un corps lumineux, il aperçoit trois *beaux halos*, à différentes distances, environnant la source de la lumière. Le halo intérieur qui est le plus blanc des trois est formé par la réfraction des rayons à travers les deux faces des cristaux qui sont le moins inclinées l'une par rapport à l'autre; le second halo qui est bleu en dehors et rouge en dedans, avec toutes les couleurs prismatiques, est formé par deux faces des cristaux plus inclinées entr'elles; et le troisième halo qui est large et brillamment coloré par une réfraction et une dispersion plus grande, est formé par les faces des cristaux le plus inclinées entr'elles. Comme chaque cristal d'alun a trois paires de chacun de ses prismes inclus, et comme leurs faces réfractrices ont toute espèce de

CHAPITRE XXXIV.

Couleurs des corps de la nature.

(165.) Aucune branche des applications de la science de l'optique n'offre plus d'intérêt que celle qui a pour but de déterminer la couleur des corps de la nature. Sir Isaac Newton fut le premier qui s'occupa de cette difficile investigation; mais quoique ses travaux portent l'empreinte de son génie, cependant ils ne peuvent souffrir un examen rigoureux depuis les progrès modernes de la science.

Sir Isaac Newton a prouvé d'une manière incontestable que les couleurs naturelles des corps n'étaient point le résultat d'une qualité inhérente au corps coloré. Il a trouvé que tous les corps, de quelque couleur qu'ils soient, ne présentent cette couleur que lorsqu'ils sont exposés à la lumière blanche. Dans une lumière *rouge homogène*, ils paraissent *rouges*, dans une couleur *violet homogène*, ils paraissent *violets*, et ainsi de suite, leur couleur se développant toujours le mieux lorsqu'ils sont placés dans un milieu de lumière solaire d'une couleur analogue. Un pain à cacheter *rouge*, par exemple, paraît rouge à la lumière blanche du jour, parce qu'il réfléchit la lumière *rouge* plus abondamment que toute autre couleur. Si l'on place ce pain à cacheter *rouge* dans la lumière jaune, il ne

paraît plus rouge parce qu'il y a un peu de jaune dans le rouge qu'il réfléchit. Si le pain à cacheter rouge ne réfléchissait absolument que la pure lumière rouge homogène, et ne réfléchissait pas la lumière blanche de la surface extérieure, ce que font tous les corps colorés, il paraîtrait entièrement noir quand on le met dans la lumière jaune. Ainsi les couleurs des corps proviennent de leur propriété de réfléchir ou de transmettre à l'œil certains rayons de lumière blanche, tandis qu'ils arrêtent ou absorbent tous les autres rayons. Jusqu'ici cette théorie de Newton est appuyée d'expériences positives; mais la partie principale de la théorie qui a pour objet de déterminer la manière dont certains rayons sont absorbés, tandis que d'autres sont réflchis ou transmis, ne repose pas sur des appuis aussi solides.

Nous donnerons en peu de mots cette théorie dont Newton a établi les principes avec la plus grande clarté :

« 1°. Ce sont les surfaces des corps transparens qui ont la plus grande force de réfraction, qui réflechissent la plus grande quantité de lumière; c'est-à-dire qui séparent les milieux qui ont le plus de différence dans leur force réfractrice : aux limites des milieux également réfracteurs, il n'y a pas de réflexion. »

« 2°. Les parties les plus minces de tous les corps de la nature sont en quelque sorte transpa-

rentes, et l'opacité de ces corps provient de la multitude des réflexions causées dans leur intérieur. »

« 3°. Entre les parties des corps opaques et colorés, il y a plusieurs espaces, soient vides, soient pleins, avec des milieux de diverses densités; comme l'*eau* entre les corpuscules qui teignent chaque liqueur qui en est imprégnée; comme l'*air* entre les globules aqueux qui constituent les nuages ou les brouillards; et comme les *espaces* qui pour la plupart ne renferment ni eau ni air, mais qui cependant ne sont pas vides de toute espèce de substance entre les parties de tous les corps. »

« 4°. Les parties des corps et leurs interstices ne sont pas moindres que quelques dimensions définies, pour les rendre opaques et colorées. »

« 5°. Les parties transparentes des corps, suivant leurs différentes dimensions, réfléchissent les rayons d'une couleur, et transmettent ceux d'une autre couleur sur le même champ que les plaques minces, ou les bulles réfléchissent ou transmettent ces rayons, et ce champ, je le prends pour celui de toutes leurs couleurs. »

« 6°. Les parties des corps dont dépendent leurs couleurs, sont plus denses que le medium qui pénètre leurs interstices. »

« 7°. La dimension des parties composantes des corps naturels, peut être conjecturée par leur couleur. »

Sir Isaac Newton s'efforça d'expliquer, d'après ces principes, les phénomènes de la *transparence*, de

l'*opacité blanche* et *noire*, et de la couleur. Il regarde la transparence de l'*eau*, des *sels*, du *verre*, des *pierres* et de toutes les substances semblables, comme provenant de la petitesse de leurs molécules et des intervalles qui les séparent; car, quoiqu'il les considère comme pleines de pores ou d'intervalles entre les molécules, comme d'autres corps, il calcule que les molécules et leurs intervalles sont trop petits pour causer la réflexion à leurs surfaces communes. Il s'ensuit, d'après la table des pages 133 et 134, que les molécules d'air et leurs intervalles ne peuvent surpasser un demi-millionième de pouce (0 millim., 0000012); les molécules d'eau, les 3/8 d'un millionième de pouce (0 m., 0000009) et celles de verre le 1/3 d'un millionᵉ de pouce (0 mill., 0000008); parce qu'à ces épaisseurs, la lumière réfléchie n'est rien, ou donne le noir du premier ordre. L'opacité des corps, tels que le papier blanc, le linge, etc., est attribuée par Newton à une grandeur plus considérable des molécules et de leurs intervalles, et assez considérable pour réfléchir le blanc qui est un mélange de couleurs des différens ordres. Ainsi, dans l'air elles doivent surpasser 77 millionièmes de pouce (0 millim., 0001925); dans l'eau, 57 millionièmes (0 mill., 0001429); et dans le verre, 50 millionièmes (0 mill., 0001250).

De la même manière, on suppose que les différentes couleurs de la table de Newton sont produites lorsque les molécules et leurs intervalles ont une grandeur intermédiaire entre celles que produit la transparence, et celle que produit l'opacité blanche,

Si une couche de *mica*, par exemple, d'une couleur *bleue* uniforme, est coupée en très-petits morceaux de la même épaisseur, chaque morceau garde sa couleur, et l'assemblage de tous ces morceaux forme une masse de la même couleur.

La théorie de Newton est plausible jusqu'ici, mais en voulant expliquer l'*opacité noire*, comme celle du charbon et d'autres corps impénétrables à la lumière, il semble s'être trompé entièrement. Pour produire le noir, « les molécules doivent être moindres qu'aucune de celles qui donnent de la couleur: car lorsqu'elles sont plus grandes, elles réfléchissent trop de lumière pour produire cette couleur; mais si on les suppose plus petites qu'il ne faut pour réfléchir le blanc et le bleu du premier ordre, elles réfléchissent si peu de lumière qu'elles paraissent d'un noir intense. » Il est évident que ces corps, vus par la réflexion, paraissent noirs; mais que devient la lumière transmise? Cette question semble avoir embarrassé sir Isaac. Il y répond ainsi: « elle est peut-être réfractée ça et là en dedans du corps, dans lequel elle paraît étouffée et perdue, ce qui la fait paraître d'un noir intense. »

Ainsi, dans cette théorie, la *transparence* et la *couleur noire* sont supposées produites par la même constitution des corps, et la *réfraction allant et venant* est regardée comme devant éteindre la lumière transmise dans un cas, tandis que dans un autre cas cette même réfraction est entièrement exclue.

Dans la production des couleurs de chaque espèce, on présume que la couleur complémentaire, ou généralement une moitié de la lumière est perdue par des réflexions répétées. Maintenant, comme la réflexion ne change que la direction de la lumière, on devrait s'attendre que la lumière ainsi dispersée, se reproduirait sous une forme ou sous l'autre; mais quoique plusieurs expériences faites avec soin aient été tentées pour le découvrir, on ne l'a jamais vu.

Pour cette raison, et pour d'autres qu'il serait trop long d'énumérer (1), je regarde la théorie Newtonienne des couleurs, comme n'étant applicable qu'à une petite classe des phénomènes, tandis qu'elle laisse sans explication les couleurs des corps liquides et des corps transparens, et toutes les belles couleurs du règne végétal. Dans de nombreuses expériences sur les couleurs des feuilles et des sucs qui peuvent s'en exprimer, je n'ai jamais pu voir les couleurs complémentaires qui disparaissent, et j'ai toujours trouvé que la teinte transmise et la teinte réfléchie étaient invariablement les mêmes. Quelle que fût l'apparence des deux teintes, j'ai trouvé qu'elle provenait toujours de deux sucs différemment colorés de parties différentes de la même feuille. La théorie Newtonienne est cependant, et nous n'en doutons pas, applicable aux ailes des insectes, aux plumes des

(1) Voyez un examen plus détaillé de cette théorie dans ma *Vie de sir Isaac Newton*.

oiseaux, aux écailles des poissons, aux couches d'oxides, de métaux et de verres, et à certaines opalescences.

Les couleurs du règne végétal et celles de divers solides, proviennent, nous en sommes convaincus, de l'attraction particulière que les molécules de ces corps exercent sur les rayons diversement colorés de la lumière. C'est par la lumière du soleil que les sucs colorés des plantes sont élaborés, que les couleurs des corps sont changées, et que plusieurs combinaisons et décompositions sont opérées. Il n'est pas facile de reconnaître que de tels effets sont produits par la simple vibration d'un milieu éthéré; et pour cette classe de faits, nous sommes forcés de raisonner comme si la lumière était matérielle. Quand une portion de lumière entre dans un corps, et qu'on ne la revoit plus jamais, nous sommes fondés à dire qu'elle est retenue par le pouvoir exercé par les molécules de ce corps sur la lumière. Qu'elle soit attirée par les molécules, cela semble très-probable, et l'on ne peut douter qu'elle n'entre en combinaison avec ces molécules pour produire divers effets chimiques et physiques; et sans connaître la manière dont cette combinaison a lieu, on peut dire que la lumière est absorbée, car c'est l'expression exacte du fait.

Maintenant, dans le cas de l'eau, du verre et des autres corps transparens, la lumière qui pénètre leurs substances a une faible portion de ses molécules absorbées, et la plus grande partie qui échappe à l'absorption et qui est transmise, sort incolore, parce que les molécules des corps ont

absorbé une quantité proportionnelle de tous les rayons qui composent la lumière blanche, ou ce qui est la même chose, parce que le corps a absorbé la lumière blanche.

Dans tous les corps *colorés*, *solides* ou *liquides*, dans lesquels la lumière transmise a une couleur particulière, les molécules du corps ont absorbé tous les rayons qui constituent la lumière complémentaire, retenant quelquefois tous les rayons d'une certaine réfrangibilité définie, une portion des rayons des autres réfrangibilités, et laissant d'autres rayons échapper entièrement à l'absorption; tous les rayons alors absorbés forment, par leur union, une couleur composée particulière, qui est exactement la couleur complémentaire des rayons transmis.

Dans les corps noirs, tels que le *charbon*, tous les rayons qui pénètrent la substance sont absorbés; et c'est la raison pour laquelle nous voyons ces corps s'échauffer et s'enflammer plus rapidement par l'action des rayons lumineux. L'influence exercée par la chaleur et le refroidissement sur le pouvoir absorbant du corps, forment de nouvelles preuves à l'appui des considérations précédentes.

(166.) Avant de terminer ce chapitre, nous ferons mention de quelques faits curieux relatifs à l'opacité blanche, l'opacité noire, et la couleur, développées par quelques substances particulières :

1°. Le tabasheer, dont le pouvoir réfractif est 1,111 entre l'air et l'eau, est une concrétion siliceuse trouvée dans les nœuds du bambou. Les

variétés les plus belles réfléchissent une couleur azur délicate, et transmettent une teinte jaune-paille qui est la couleur complémentaire de l'azur. Quand elle est faiblement humectée avec une aiguille ou une épingle mouillée, la *tache humide* devient instantanément *blanc de lait* et *opaque*. L'application d'une plus grande humidité lui rend sa transparence.

2°. Le *caméléon minéral* est une substance solide que l'on produit en chauffant avec de la potasse l'oxide pur de manganèse. Quand on dissout ces substances dans l'eau chaude, le caméléon minéral change sa couleur du *vert* au *bleu* et au *pourpre*; cette dernière descendant dans l'ordre des anneaux à mesure que les particules deviennent plus petites.

3°. Un mélange d'huile d'amandes douces, de savon et d'acide sulfurique, est, suivant M. Claubry, d'abord *jaune*, puis *orangé*, *rouge* et *violet*. Dans le passage de l'*orangé* au *rouge*, le mélange paraît presque noir.

4°. Si l'on emploie dans l'expérience précédente au lieu de l'huile d'amandes, l'huile obtenue en chauffant de l'alcool et du chlore, les couleurs du mélange sont le *jaune pâle*, *orangé*, *noir*, *rouge*, *violet* et le plus beau *bleu*.

5°. La *teinture de tournesol*, après avoir été très-long-temps renfermée dans une bouteille, a une couleur *orangé*; mais quand la bouteille est ouverte et le liquide agité, la liqueur en peu de minutes devient *rouge* et puis *violet-bleu*.

6°. Une solution d'*hématine* dans l'eau contenant quelques gouttes d'acide acétique, est *jaune-grisâtre*. Si on l'introduit dans un tube contenant du mercure, et qu'on le chauffe à l'aide d'un fer chaud, elle prend les diverses couleurs *jaune*, *orangé*, *rouge* et *pourpre*, et revient par degrés à sa teinte primitive.

7°. Plusieurs oxides métalliques offrent un changement passager de couleur par la chaleur, et reprennent leur couleur primitive par le refroidissement. M. Chevreul a observé que, lorsque l'indigo étendu sur le papier est volatisé, sa couleur passe à un rouge-ponceau très-brillant. Le phosphate jaune de plomb devient vert par la chaleur.

8°. Un des faits les plus remarquables est celui qu'observa M. Thenard sur le phosphore; purifié par des distillations répétées, sa couleur est *jaune-blanchâtre* quand on le laisse refroidir lentement, et elle devient *absolument noire* quand on le jette fondu dans de l'eau froide. En touchant quelques petits globules qui restaient encore jaunes et liquides, lorsqu'il voulut répéter cette expérience, M. Biot a trouvé qu'ils devenaient de suite noirs et solides.

CHAPITRE XXXV.

De l'Œil et de la Vision.

C'est une branche intéressante de l'application de l'optique, que la description de la structure et des fonctions de l'œil de l'homme, ce chef-d'œuvre d'un mécanisme divin. Les figures 140 et 141 représentent ce noble organe auquel nous devons une si grande portion de nos connaissances sur l'univers matériel; la figure 140 est une vue de face et extérieure de l'œil dont la figure 141 offre la coupe intérieure

L'œil de l'homme est de forme sphérique avec une légère saillie en avant : la prunelle ou globe de l'œil se compose de quatre tuniques ou membranes qui ont reçu les noms de *sclérotique*, *choroïde*, *cornée* et *rétine;* et ces tuniques, membranes ou enveloppes, contiennent trois humeurs : l'humeur *aqueuse*, l'humeur *vitrée* et l'humeur *cristalline*; cette dernière a la forme d'une lentille. La tunique sclérotique ou extérieure *aaaa* (fig. 141), est une membrane d'une forte consistance à laquelle sont attachés tous les muscles qui font mouvoir la prunelle, et elle constitue le blanc de l'œil *aa* (fig. 140). La cornée *bb* est cette tunique claire et transparente qui forme le devant de la prunelle; c'est la première surface optique sur laquelle les rayons de la lumière sont réfractés : elle est intimement liée à la sclérotique, remplissant

entièrement une ouverture circulaire à son milieu. La cornée est une membrane excessivement résistante, d'une égale épaisseur de part en part, composée de plusieurs couches fortement adhérentes entr'elles et en état d'opposer la plus grande résistance à un choc extérieur et aux injures de l'air. La tunique choroïde est une membrane délicate, recouvrant la surface intérieure de la sclérotique et couverte à l'intérieur d'une liqueur noirâtre dans laquelle se trouve la rétine *rrr* qui est l'enveloppe la plus interne du tout. C'est une membrane réticulaire, délicate, formée par l'expansion du nerf optique *oo*, qui entre dans l'œil en un point situé à 1/10 de pouce environ (2 millimèt. 53997) de l'axe de l'œil, en se rapprochant du côté du nez. A l'extrémité de l'axe de l'œil, sur une ligne passant à travers le centre de la cornée, et perpendiculaire à sa surface, est un petit trou à bord jaunâtre, appelé le *foramen centrale* (ouverture centrale), et qui, malgré ce nom, n'est pas une ouverture réelle, mais seulement une tâche transparente, libre de la matière douce et humide dont la rétine est composée.

En regardant à travers la cornée, du dehors, on aperçoit une membrane circulaire plate *ef* (fig. 141), et du dedans *bb* (fig. 140), qui est grise, bleue ou noire et divise la portion antérieure de l'œil en deux parties inégales. Au centre est une ouverture circulaire *d*, appelée la pupille, qui s'étend ou se dilate quand une faible lumière arrive à l'œil, et qui se res-

serre ou se contracte quand une grande lumière y pénètre. Les deux portions dans lesquelles l'iris divise l'œil, se nomment la chambre antérieure et la chambre postérieure. La chambre antérieure qui est antérieure à l'iris *ef*, contient l'humeur aqueuse, et la chambre postérieure qui est postérieure à l'iris, contient les humeurs cristalline et vitrée ; cette dernière remplit une grande portion du globe de l'œil.

La lentille cristalline *cc* (fig. 141), est une substance plus solide que l'humeur aqueuse ou que l'humeur vitrée. Elle est suspendue dans un sac ou capsule par les *tissus ciliaires gg* qui sont attachés de chaque côté du bord ou de la circonférence de la capsule. Cette lentille est plus convexe en dedans qu'en dehors; le rayon de la surface antérieure étant d'1/30 de pouce (0 mill., 8466) et celui de la surface postérieure d'1/22 de pouce (1 mill., 1545). La densité de la lentille qui a la structure double réfractive, s'accroît de la circonférence vers le centre. Elle se compose de couches concentriques qui sont elles-mêmes formées de fibres. L'humeur vitrée V, V, est contenue dans une capsule qu'on suppose divisée en plusieurs compartimens.

La plus grande longueur de l'œil de O à *b* est d'environ 0 pouce, 91 (23 mill., 1137); la distance focale principale de la lentille *cc*, est de 1 pouce 73 (43 mill., 94148), et le champ de mobilité de la prunelle ou le diamètre du champ de vision distincte est 110°. Le champ de vision est 50° en dessus de la ligne horizontale et 70° en dessous, ou bien

120° dans le plan vertical ; il est 60° en dedans et 90° en dehors, ou 150° dans le plan horizontal.

J'ai trouvé les pouvoirs réfractifs suivans pour les différentes humeurs de l'œil; les rayons de lumière y venant de l'air :

HUMEUR AQUEUSE.	LENTILLE CRISTALLINE.		HUMEUR VITRÉE.
	surface.	centre. moyen.	
1,336	1,3767	1,3990 1,3839	1,3394

Mais comme les rayons réfractés par l'humeur aqueuse passent dans l'humeur cristalline, et ceux réfractés par l'humeur cristalline dans l'humeur vitrée, les mesures de réfraction des surfaces de ces humeurs séparément, sont :

De l'humeur aqueuse à l'enveloppe extérieure de l'humeur cristalline . . .	1,0466
De l'humeur aqueuse à l'humeur cristalline, terme moyen.	1,0353
De l'humeur vitrée à la couche extérieure de l'humeur cristalline	1,0445
De l'humeur vitrée à l'humeur cristalline, terme moyen	1,0332

La cornée et la lentille cristalline agissant par rapport aux rayons de lumière qui arrivent à l'œil, exactement de la même manière qu'une lentille convexe, les images renversées des objets extérieurs se forment sur la rétine *rrr*, précisément de la même manière que si la rétine était une feuille de papier

blanc dans le foyer d'une simple lentille placée en *d*. Il y a toutefois cette différence que, dans l'œil, l'aberration sphérique est corrigée à l'aide de la variation de densité de la lentille cristalline qui, ayant un plus grand pouvoir réfractif près du centre de sa masse, réfracte les rayons du centre au même point que les rayons qui passent à travers près la circonférence *cc*. L'œil de l'homme n'est d'ailleurs pourvu d'aucun appareil pour la correction de couleur, parce que la déviation des rayons diversement colorés y est trop faible pour empêcher la vision d'être distincte. Si l'on couvre toute la pupille à l'exception de son bord, ou qu'on regarde passé le doigt porté près de l'œil jusqu'à ce que le doigt laisse à peine passer une étroite ligne de lumière blanche, on verra distinctement le spectre coloré de cette ligne avec toutes les couleurs, ce qui ne pourrait avoir lieu si l'œil était achromatique.

On a souvent montré comment les images des objets extérieurs se peignent renversées sur la rétine, et on peut le faire voir en prenant un œil de bœuf, et en enlevant avec un instrument tranchant l'enveloppe sclérotique, jusqu'à ce qu'elle devienne assez mince pour voir l'image à travers. La science optique ne peut nous éclairer au-delà; nous ne savons pas de quelle manière la rétine transmet à la cervelle les impressions qu'elle reçoit de la lumière, et peut-être ne le saura-t-on jamais.

(167.) *Siége de la vision.* La rétine, par sa structure délicate et sa proximité de l'humeur vitrée, avait toujours été regardée comme le siége de la vision, ou la surface sur laquelle les rayons convergeaient vers leurs foyers, pour en transmettre l'impression à la cervelle jusqu'au moment où M. Mariotte fit la curieuse découverte que la base du nerf optique, ou la section circulaire O (fig. 141) était incapable de transmettre à la cervelle l'impression d'une distincte vision.

Il trouva que lorsque l'image d'un objet extérieur tombe sur la base du nerf optique, elle disparaît instantanément. Pour le prouver, il suffit de placer sur un mur, à la hauteur de l'œil, trois pains à cacheter, distant l'un de l'autre de 2 pieds (609 mill., 592); fermant un œil, fixez l'autre sur le pain à cacheter du milieu ; en regardant le pain à cacheter placé du côté de l'œil fermé, éloignez-vous du mur graduellement, et jusqu'à ce que le pain à cacheter du milieu disparaisse. Cela arrivera à cinq fois environ la distance des pains à cacheter entr'eux, ou à 10 pieds (3047 milli., 96) du mur, et pendant que le pain à cacheter du milieu disparaît, les deux autres sont vus distinctement. Si l'on substitue des chandelles allumées aux pains à cacheter, celle du milieu ne disparaît pas entièrement, mais elle forme une masse sombre de lumière. Si l'on place les pains à cacheter sur un mur coloré, la tache occupée par

le pain à cacheter se recouvre de la couleur du mur, comme si le pain à cacheter eut été enlevé. Suivant Daniel Bernoulli, la partie du nerf optique, insensible à distinguer les impressions, occupe environ la septième partie du diamètre de l'œil, ou environ 1/8 de pouce (3 millim., 175).

L'insuffisance de la base du nerf optique pour donner une vision distincte, conduisit Mariotte à penser que l'enveloppe choroïde qui se trouve immédiatement au-dessous de la rétine, remplit les fonctions qu'on avait attribuées à la rétine; car lorsqu'il n'y a pas d'enveloppe choroïde, il n'y a pas de vision distincte. L'opacité de la choroïde, et la transparence de la rétine qui la rendrait une substance insuffisante pour la réception des images, étaient des argumens en faveur de cette opinion. L'anatomie comparée nous fournit encore un autre argument plus décisif que tous ceux de Mariotte. Dans l'œil du *sepia loligo*, ou sèche, un enduit opaque membraneux est interposé entre *la rétine et l'humeur vitrée* (1), de manière que si la rétine est essentielle à la vision, les impressions de l'image sur cette membrane noire doivent être apportées à la rétine par les vibration de l'enduit membraneux qui la recouvre. Maintenant, puisque la rétine de l'œil de l'homme est transparente, elle n'empêche pas les images de se

---

(1) Docteur Knox, *Journal des Sciences* d'Edimbourg, page 199.

former sur l'enveloppe choroïde, et les vibrations qu'elles excitent dans cette membrane étant communiquées à la rétine, sont transmises à la cervelle. Ces aperçus sont renforcés par un autre fait de quelqu'intérêt. J'ai observé chez de jeunes personnes, que l'enveloppe choroïde (que l'on suppose généralement être noire et s'affaiblir par l'âge) reflete une brillante couleur cramoisie, comme celle des chiens et des autres animaux. Il s'ensuivrait que si la rétine était affectée par les rayons qui la traversent, cette lumière qui serait nécessairement transmise par elle, exciterait cette sensation de cramoisi que j'ai trouvé ne pas exister.

Un écrivain français, M. Lehot, a récemment publié un ouvrage pour démontrer que le siége de la vision est dans l'humeur vitrée, et qu'au lieu de voir une image fidèle de l'objet, nous voyons l'image de chacune de ses dimensions, longueur, largeur et hauteur ou épaisseur. Il suppose que pour produire cet effet, la rétine déplace en dedans un certain nombre de petits filamens nerveux qui s'étendent dans l'humeur vitrée, et apportent à la cervelle les impressions de toutes les faces de l'image. Si cette théorie était vraie, l'œil ne pourrait se prêter à la vision à toute distance, et nous savons cependant, d'une manière certaine, que l'œil ne peut saisir deux points d'un même objet à différentes distances, tandis qu'il saisit parfaitement l'un des deux. M. Lehot réplique à la vérité à la première de ces objections, que les filamens nerveux peuvent ne pas s'étendre

assez dans l'humeur vitrée pour rendre cette addition inutile, mais que si on l'admet, il faudrait admettre une imperfection de mécanisme, telle que le créateur eût employé deux moyens pour produire un effet qu'un seul de ces moyens eût également produit.

Comme il existe encore des difficultés inhérentes à chaque opinion sur le siége de la vision, nous nous servirons encore de l'expression dont se sont servi tous les opticiens, que les images des objets se peignent sur la rétine.

(168.) 2. *Loi de la direction de la vision.* Quand un rayon de lumière tombe sur la rétine et nous procure la vision d'un point de l'objet dont il provient, c'est une question intéressante que de déterminer dans quelle direction l'objet sera vu, par rapport au point où il tombe sur la rétine. Soit F (fig. 142) un point de la rétine sur lequel une image d'un point éloigné est formée par la lentille cristalline que nous supposons être LL. Maintenant, les rayons qui forment l'image du point, en F, tombent sur la rétine dans toutes les directions possibles de LF à LF, et nous savons que le point F est vu dans la direction FCR. De la même manière, les point *ff'* sont vus suivant les directions *f'*S, *f*T. Ces lignes FR, *f'*S et *f*T qu'on peut appeler les lignes *de la direction de la vision*, peuvent être, soient celles qui passent à travers le centre C de la lentille LL, ou bien dans l'œil, à travers le centre d'une lentille équivalente à toutes les réfractions employées pour produire l'i- [illegible] les résultantes de toutes les directions dans

les angles LFL, L/L, L/'L; ou bien encore une ligne perpendiculaire à la rétine en F', /', /F. Afin de déterminer ce point, regardons par-dessus une carte le point dont l'image est en F, jusqu'à ce que le bord de la carte arrive juste pour le cacher, ou ce qui est la même chose, obstruons tous les rayons qui passent à travers la pupille, excepté le rayon supérieur RL, nous trouverons alors que le point dont l'image est en F est vu dans la même direction que lorsqu'il était vu par tous les rayons LF, CF, LF. Si nous regardons de même par-dessous la carte, de manière à voir l'objet par le rayon inférieur RLF, nous le verrons encore dans la même direction. Il est évident, d'après cela, que la ligne de direction visible ne dépend pas de la direction des rayons, mais qu'elle est toujours perpendiculaire à la rétine. Cette vérité importante dans la physiologie de la vision, peut être prouvée d'une autre manière. Si nous regardons le soleil par-dessus une carte, comme tout à l'heure, de manière à donner à l'œil une impression permanente du spectre par le moyen des rayons LF qui tombent obliquement sur la rétine, le spectre sera vu suivant l'axe de vision FC. De même, si l'on presse le globe de l'œil à un endroit quelconque de la rétine, on voit que l'impression lumineuse est produite dans une direction perpendiculaire au point de pression; et si cette pression s'opère à l'aide d'une tête d'épingle, de manière à presser tantôt obliquement et tantôt perpendiculairement, on trouve que la tache lumineuse a la même direction.

Maintenant, comme le globe est autant que possible une surface sphérique, les lignes perpendiculaires à la surface de la rétine doivent passer toutes en un seul point, c'est à-dire au centre de cette surface sphérique. Ce point unique peut s'appeler le *centre de direction visible*, parce que chaque point d'un objet visible sera vu dans la direction de la ligne tirée de ce centre au point visible. Quand on fait mouvoir le globe de l'œil à l'aide d'un de ses muscles suivant toute son étendue de 110°, chaque point d'un objet visible, dans l'aire du champ visible de vision distincte ou indistincte, reste entièrement fixé, et cela a lieu à raison de l'immobilité du centre de direction visible, et conséquemment des lignes de direction visible que joignent le centre et chacun des points du champ visible. Si le centre de direction visible eût été hors du centre du globe de l'œil, cette parfaite stabilité de vision n'eût pu exister. Si l'on presse l'œil avec le doigt, on altère la forme sphérique de la surface de la rétine, et conséquemment la direction des lignes qui lui sont perpendiculaires, et aussi le centre où ces lignes se rencontrent, de manière que les directions des objets visibles peuvent être changées par la pression, ainsi que nous venons de nous en assurer.

(169.) 3. *Cause de la vision redressée d'une image renversée.* Comme les réfractions qui ont lieu à la surface de la cornée et à la surface de la lentille cristalline, agissent exactement comme celles d'une entille convexe, en formant derrière elles une image

renversée d'un objet droit, et comme nous savons par une expérience directe qu'une image renversée se forme sur la rétine, il a été long-temps en problème, parmi les savans, de déterminer comment une image renversée produit un objet redressé : ce serait perdre le temps inutilement que de donner même un aperçu des différentes opinions qui ont été émises à ce sujet; mais il y en a une si extraordinaire, qu'elle mérite une mention particulière. Suivant cette opinion, tous les enfans voient les images renversées, et c'est seulement en comparant l'image à l'objet, qu'ils redressent, à l'aide du toucher, cette notion fausse qui leur est communiquée par la vue. Réfuter une semblable opinion, serait insulter l'intelligence en entier. L'établissement de la vraie cause de la vision directe renverse nécessairement toutes ces hypothèses erronées.

La loi de direction visible ci-dessus expliquée, et déduite d'expériences directes, détruit toutes les difficultés qui s'élevaient à cet égard. Les lignes de directions visibles se croisent nécessairement les unes et les autres au centre de cette direction visible, de manière que la partie inférieure de l'image vient de la partie supérieure de l'objet, et la partie supérieure de l'image vient de la partie inférieure de l'objet. Ainsi, dans la figure 142, la direction visible du point f', formée par les rayons provenant de la partie supérieure S de l'objet, sera $f'CS$, et la direction visible du point f, formée par les rayons provenant de la partie inférieure T de l'objet, sera $f'CT$: de

telle sorte qu'une image renversée produit nécessairement un objet redressé.

Cette conclusion peut être mise hors de doute d'une autre manière. Si nous élevons contre le soleil la figure droite d'un homme, découpée sur un morceau de papier noir, et que nous la regardions fixément un instant; si nous fermons alors les deux yeux, nous verrons un spectre droit de l'homme lorsque la figure de papier est droite, et un spectre renversé lorsque la figure est renversée. Dans ce cas, il n'y a pas de rayons provenant sur la rétine après que l'œil est fermé, et c'est en vertu des lignes de direction visible qui dans tous les cas sont perpendiculaires à la partie impressionnée de la rétine, que l'objet est vu dans les positions que nous venons de dire.

(170.) 4. *Loi de la vision distincte.* Quand l'œil est dirigé vers un point d'un paysage, il ne voit parfaitement distinct que ce seul point qui est directement dans l'axe de l'œil, ou dont l'image tombe sur le trou central de la rétine. Mais quoique l'on ne voie que ce seul point d'une manière parfaitement distincte et qui en permette l'examen, on voit encore les autres points du paysage assez distinctement pour jouir de l'effet général. L'extrême mobilité de l'œil d'ailleurs, et la durée des impressions faites sur la rétine, remédient à ce défaut apparent, et nous donnent les moyens de voir chacune des parties du paysage aussi parfaitement que si chacune d'elles était vue d'une manière entièrement distincte.

Le peu de netteté de la vision pour tous les objets situés hors de l'axe de l'œil, s'accroît avec leurs distances hors de l'axe; de manière que nous ne sommes pas en droit d'assigner la netteté de la vision dans l'axe, à la circonstance de la formation de l'image dans le trou central de la rétine où il n'y a pas de substance nerveuse : car s'il en était ainsi, il y aurait une limite précise entre la vision distincte et la vision indistincte, ou l'on trouverait que la rétine devient de plus en plus épaisse à mesure qu'elle s'éloigne du trou central, ce qui n'a pas lieu.

En faisant quelques expériences sur le peu de netteté de la vision, à distance de l'axe de l'œil, j'ai été conduit à observer une particularité très-remarquable de la vision optique. Si l'on ferme un œil et que l'on dirige l'autre sur quelque point fixe, comme une tête d'épingle, on voit indistinctement tous les autres objets dans la sphère de la vision. Supposons que l'un de ces objets vus alors indistinctement soit une bande de papier blanc ou une plume couchée sur un drap vert, après un peu de temps, la bande de papier ou la plume disparaît, comme si on l'eût enlevé entièrement; l'impression du drap vert sur les autres parties de l'œil, s'étendant elle-même sur la partie de l'œil qu'occupait le papier blanc ou la plume, peu de temps après, l'image reparaît et disparaît de nouveau. Quand les deux yeux sont ouverts, le même effet a lieu, mais pas aussi rapidement qu'avec un seul œil. Si l'objet vu indistinctement forme une tache noire sur un espace blanc, il disparaît de la

même manière. Quand l'objet vu obliquement est lumineux, comme une chandelle, par exemple, il ne disparaît jamais entièrement, à moins que cette lumière ne soit affaiblie, parce qu'elle est placée à une trop grande distance; mais elle se dilate, se contracte, et s'enveloppe d'un cercle nébuleux, de manière que l'impression lumineuse s'étend elle-même aux parties adjacentes de la rétine, sur lesquelles la lumière elle-même n'a pas d'influence directe.

Si l'on place deux chandelles à la distance de 8 pieds (2438 millim., 368), ou 10 pieds (3047 millim., 96) de l'œil, et à 1 pied (304 millim., 796) environ l'une de l'autre, on voit l'une directement et l'autre indirectement; l'image indirecte s'étendant ainsi que nous l'avons dit, et s'entourant d'un anneau brillant de lumière jaune, tandis que la lumière brillante dans l'anneau a une couleur bleu-pâle. Si les chandelles sont vues à travers un prisme, la lumière rouge et verte de l'image indirecte s'évanouit, en ne laissant qu'une grande masse de lumière jaune, terminée par une portion de lumière bleue. En faisant cette expérience, et regardant fixement et directement l'une des images prismatiques des chandelles, je fus surpris de trouver que les rayons rouges et verts commençaient à disparaître, ne laissant que du jaune et une portion du bleu; et lorsque l'œil était tenu fixé invariablement sur le même point de l'image, la *lumière jaune devenait presque du bleu pur*, et de telle sorte que l'image

prismatique se convertissait en une image allongée de lumière blanche.

Si le morceau de papier qui est vu indistinctement par les deux yeux à la fois, est placé assez près de l'œil pour être vu double, les rayons qui en proviennent ne tombent pas plus loin sur les points correspondans de la rétine, et les deux images ne s'évanouissent pas instantanément. Mais lorsque l'une commence à disparaître, l'autre commence aussitôt après, de manière qu'elles semblent quelquefois disparaître en même temps.

Il paraît, d'après ces résultats, que la vision oblique ou indirecte est inférieure à la vision directe, non-seulement par rapport à la netteté de l'image, mais encore par rapport au maintien de cette image; cependant, malgré ces défauts, elle a sur la vision directe l'avantage de donner une vision plus parfaite des petits objets, tels par exemple que les petites étoiles que ne peut atteindre la vision directe. Ce fait curieux a été remarqué par M. Herschel et sir James South, et par quelques astronomes français. « Une méthode plus que singulière, disent MM. Herschel et South, d'obtenir une vue et même une mesure grossière, des angles des étoiles des plus faibles degrés, est celle souvent employée de *diriger l'œil sur un autre point du champ.* De cette manière, une faible étoile dans le voisinage d'une grande étoile, devient souvent très-visible; de telle sorte qu'elle produit un certain éclat qui disparaît soudain, dès que l'on y applique l'œil direct, et qui

reparaît par une vision oblique, apparaissant et disparaissant ainsi alternativement, aussi souvent qu'on le désire. Les parties latérales de la rétine, moins fatiguées par de fortes lumières, et moins épuisées par une continuelle attention, sont probablement plus sensibles aux faibles impressions que les parties centrales, et ainsi s'explique ce phénomène. »

L'explication suivante de ce phenomène me semble plus satisfaisante : un *point lumineux* vu par la *vision directe*, ou une ligne étroite de lumière vue fixement pendant un temps considérable, met la rétine dans un état d'agitation très-défavorable à une vision distincte. Si l'on regarde à travers les dents d'un peigne fin rapproché de l'œil, ou même à travers une simple ouverture aussi étroite, une feuille de papier blanc éclairé ou le ciel, le papier ou le ciel paraîtront se couvrir d'une foule de traces lumineuses, serpentant parallèlement à l'ouverture, et dans un mouvement continuel; et si l'on fait tourner l'ouverture, ces ondulations parallèles tournent en même temps. Les lignes noires et blanches forment des ondulations successives pour la rétine qui est sensible aux impressions de la lumière dans une des phases, et insensible dans l'autre phase. Un effet analogue est produit quand on regarde constamment et pendant long-temps les hachures parallèles qui représentent la mer sur une mappemonde. Ces lignes se brisent en serpentant, et toutes les teintes du prisme apparaissent entre ces lignes brisées et ondulées. Un point de lumière peut donc, par une vision con-

tinue, se maintenir sur la rétine quand il est vu directement.

Maintenant, dans le cas de la vision indirecte, nous avons déja vu qu'un objet lumineux ne s'évanouit pas, mais paraît indistinct et produit sur la rétine une image plus étendue, outre celle qui est produite par le défaut de convergence des faisceaux. Ainsi, une étoile vue indirectement affecte une portion plus grande de la rétine par ces deux causes réunies, et en perdant son acuité, elle deviendra plus distincte. C'est cette curieuse circonstance aussi qui, dans l'expérience précédente des deux chandelles, fait que les deux chandelles vues indirectement paraissent d'un plus vif éclat que l'une d'elles vue directement.

(171.) 5. *Insensibilité de l'œil pour les impressions directes d'une faible lumière.* L'insensibilité de la rétine pour les impressions indirectes des objets ordinairement éclairés, a une singulière contre-partie par son insensibilité pour les impressions directes de la lumière très-faible. Si l'on fixe constamment l'œil sur les objets d'une chambre sombre faiblement éclairée par la plus faible lueur de lumière, il éprouve aussitôt une pénible agitation; les objets paraissent et disparaissent suivant que la rétine a recouvré ou perdu sa sensibilité.

Ces affections sont sans aucun doute la source de plusieurs illusions d'optique, auxquelles on a donné une origine surnaturelle. Dans une nuit sombre, lorsque les objets sont faiblement éclairés,

les voir paraître et disparaître doit sembler extraordinaire à une personne qui, par crainte ou par curiosité, fait tous ses efforts pour bien observer. Ce défaut de l'œil doit avoir été souvent observé par le chasseur qui remarque, sur un terrain monotone, la place où le gibier s'est abattu. S'apercevant lui-même du peu de différence qu'il y a dans la teinte du terrain environnant, il tâche de fixer son œil sans le détourner, à mesure qu'il avance; mais toutes les fois que la place est faiblement éclairée, il perd presque toujours la trace, ou si la rétine la lui indique une seconde fois, c'est pour la perdre encore de nouveau (1).

(172.) 6. *Durée des impressions de la lumière sur la rétine.* Chacun peut avoir observé que l'effet de la lumière sur l'œil continue pendant quelque temps. Pendant le clignement de l'œil, où le mouvement rapide de la paupière pour distribuer le fluide qui lubrifie la cornée, nous ne perdons pas la trace des objets qui sont en vue. De même, quand on fait éprouver un mouvement rapide à un charbon ardent, son extrémité incondescente produit un cercle complet de lumière, quoique, dans un même instant, il n'y ait qu'un seul point de ce cercle marqué par le rouge du feu.

L'expérience la plus instructive d'ailleurs, à cet égard, et qui demande un peu d'habitude pour être faite, est de regarder un instant la lumière d'une

(1) Voyez *Journal des Sciences* d'Edimbourg, N° VI, p. 288,

fenêtre d'un long appartement, et de répartir vivement son œil sur l'ombre d'un mur. En général, un observateur ordinaire verra l'image de la fenêtre dans laquelle les bandes noires sont blanches, et les carreaux blancs sont noirs; tandis qu'un observateur habile et habitué à faire rapidement ses observations, verra une image fidèle de la fenêtre avec ses bandes sombres et ses carreaux blancs; mais à cette image en succède une autre dans laquelle les bandes sont brillantes et les carreaux sombres. M. d'Arcy a trouvé que la lumière d'un charbon vif, se mouvant à la distance de 165 pieds (50291 millim., 34), maintient son impression sur la rétine pendant la septième partie d'une minute.

(173.) 7. *Cause d'une seule vision avec les deux yeux.* Quoique l'image de chaque objet visible soit formée sur la rétine de chacun des yeux, cependant, quand les deux yeux peuvent diriger leurs axes sur un même objet, il paraît simple. Il n'y a pas de doute que dans un sens nous voyons réellement deux objets, mais ces objets se confondent en un seul, parce que chacun d'eux occupe exactement la même place. Une seule vision avec deux yeux, ou un plus grand nombre si nous les avions, est la conséquence nécessaire de la loi de direction visible. Par l'action des muscles extérieurs du globe de l'œil, les axes de chacun des yeux peuvent être dirigés sur un point de l'espace, à toute distance au-delà de 4 ou 5 pouces (102 à 127 mill.,). Si nous regardons, par exemple, l'ouverture d'un volet de croisée, nous sentons qu'il

s'en forme une image dans chaque œil; mais si la ligne de direction visible de chacun des points de l'une des images se rencontre avec la ligne de direction visible de chacun des mêmes points de l'autre image, chaque point double sera vu comme un point simple, et par conséquent, l'ouverture entière vue par un seul œil coïncidera avec l'ouverture entière vue par l'autre œil. Si les axes des deux yeux sont dirigés vers un point, en dehors de la fenêtre ou en dedans de la chambre, l'ouverture paraîtra double, parce que la ligne de direction visible des mêmes points dans chaque image ne se rencontre pas à l'ouverture. Si les muscles de l'un des yeux ne permettent pas de diriger les deux axes des deux yeux sur le même point, l'objet, dans ce cas, paraîtra double encore. L'inhabileté de l'un des yeux à suivre les mouvemens de l'autre est souvent une cause de loucherie, parce que l'un des yeux dirige alors différemment ses regards que l'autre œil, pour que tous deux les fassent arriver au même point. Le même effet est souvent produit par la vision imparfaite de l'un des yeux, et puisqu'alors le bon œil est le seul qui fasse son service, le mauvais perd aussi peu à peu le pouvoir de suivre les mouvemens de l'autre, et son regard suit, par conséquent, une direction différente. La loucherie est au reste un défaut auquel on peut souvent remédier.

(174.) 8. *Application de l'œil à différentes distances.* Quand l'œil distingue aisément les objets à une grande distance, il est inhabile sans quelque

changement, à voir aussi distinctement à une moindre distance. On s'en apercevra facilement en regardant un objet éloigné à travers les doigts. Quand l'objet éloigné paraît distinctement, les doigts paraissent indistinctement; et si on fixe les doigts de manière à les voir d'une manière distincte, l'objet éloigné devient tout à fait indistinct. Les savans les plus distingués ont avancé diverses opinions relativement au moyen à l'aide duquel l'œil s'ajuste ainsi à différentes distances. Quelques-uns l'ont attribué à la dilatation et à la contraction de la pupille; d'autres à un alongement de l'œil qui éloigne la rétine de la lentille cristalline; d'autres au mouvement de la lentille cristalline; d'autres enfin au changement de convexité de la lentille, avec cette hypothèse qu'elle est composée de fibres musculaires. J'ai éprouvé, par une expérience directe, qu'une variation dans l'ouverture de la pupille, produite artificiellement, est incapable de produire un ajustement; qu'un allongement de l'œil altérerait la courbure de la rétine, conséquemment le centre de direction visible, et ferait changer l'image de place; je considère en conséquence cette hyppothèse comme insoutenable.

Afin de découvrir la cause de l'ajustement de l'œil à la distance, j'ai entrepris une série d'expériences dont on peut déduire les conséquences suivantes :

1°. La contraction de la pupille qui nécessairement a lieu lorsque l'œil l'ajuste aux objets rap-

prochés, ne produit pas de vision distincte par la diminution de l'ouverture, mais par quelqu'autre action qui l'accompagne nécessairement.

2°. L'œil s'ajuste aux objets rapprochés par deux actions : l'une *volontaire*, dépendante tout-à-fait de la volonté, et l'autre *involontaire*, dépendante de l'excitation de la rétine par la lumière.

3°. Lorsque le pouvoir volontaire de l'ajustement vient à manquer, l'ajustement a lieu comme par l'excitation involontaire de la lumière.

En raisonnant d'après ces inductions et d'autres résultats d'expérience, il semble difficile de ne pas conclure que le pouvoir de l'ajustement dépend du mécanisme qui contracte et qui dilate la pupille; et comme l'ajustement est indépendant de la variation de l'ouverture, il doit être effectué par les parties en contact immédiat avec la base de l'iris. En considérant les divers moyens à l'aide desquels la base de l'iris peut produire l'ajustement, il paraît presque certain que la lentille est éloignée de la rétine par la contraction de la pupille (1).

(175.) 9. *Cause de la vue longue et de la vue courte.* Entre 30 et 50 ans, les yeux de plusieurs personnes commencent à éprouver un changement remarquable qui se dénote généralement par la difficulté de lire un caractère d'imprimerie un peu fin,

(1) Voir, pour plus de détails sur ces expériences, le *Journal des Sciences* d'Edimbourg, N° I, page 77.

particulièrement à la lumière des chandelles. Ce défaut de la vue, que l'on appelle de *longue vue*, parce que les objets se voient mieux à distance, provient d'un changement d'état dans la lentille cristalline, changement qui altère aussi bien sa densité et son pouvoir réfractif que sa forme. Il commence souvent au bord de la lentille et met plusieurs mois à l'entourer; il est fréquemment accompagné d'une séparation partielle des lamelles et même des fibres de la lentille. « Si l'œil humain, comme je l'ai remarqué ailleurs, n'est pas ménagé avec soin à cette période, le changement de la lentille dégénère en cataracte ou se termine par un dérangement de fibres qui, quoique n'étant pas indiqué par l'opacité blanche, occasione cependant des défauts de vision que l'on confond avec l'amaurosis et d'autres défauts. Un oculiste habile, qui comprend bien toute la structure de l'œil et ses fonctions optiques, n'éprouvera aucune difficulté, à l'aide d'une expérience bien simple, à découvrir la petite portiou de lentille qui a éprouvé le changement; à déterminer la nature et la grandeur du changement qui a eu lieu; à appliquer le remède pour arrêter les progrès du mal, et à s'assurer quel aide on peut obtenir des lentilles convexes ou concaves. Dans de tels cas, on a souvent recours aux lentilles des conserves avant que la lentille cristalline n'ait éprouvé un changement uniforme de figure ou de densité, et leur usage ne peut manquer d'aggraver le mal auquel on voudrait remédier. Dans la maladie de la lentille, où

la séparation des fibres est limitée à de petites taches et même à des taches assez grandes pour donner des images colorées et séparées d'un objet lumineux, ou des cercles irréguliers de lumière, il est souvent nécessaire de limiter l'ouverture des conserves, de manière que la vision s'effectue par la partie saine de la lentille cristalline. »

Ce défaut de l'œil, quand il n'est pas accompagné de maladie, peut être complétement corrigé par l'usage d'une lentille convexe, qui supplée à l'inertie du cristallin et fait pour l'œil converger les faisceaux provenant des objets rapprochés aux foyers distincts de la rétine.

La courte vue se dénote par l'inhabileté de voir à distance, et ceux qui éprouvent ce défaut rapportent les petits objets le plus près possible de l'œil afin de les voir distinctement. Les rayons éloignés des objets sont, dans ce cas, conduits à leurs foyers avant qu'ils atteignent la rétine, et c'est pour cela que l'image sur la rétine est indistincte. Ce défaut paraît souvent dans un âge avancé et provient d'un accroissement de densité dans les portions centrales de la lentille cristalline. En se servant d'une lentille concave convenable, la convergence des rayons est retardée de manière à ce qu'une image distincte puisse se former sur la rétine.

CHAPITRE XXXVI.

Couleurs accidentelles et ombres colorées.

(176.) Lorsque l'œil a reçu une forte impression de quelque lumière colorée particulière, et qu'ainsi impressionné il regarde une feuille de papier blanc, le papier ne paraît plus blanc, ni de cette même couleur qui avait impressionné l'œil, mais bien de diverses couleurs que l'on dit être les *couleurs accidentelles* de celle dont l'œil était impressionné. Si l'on place, par exemple, un brillant *pain à cacheter rouge* sur une feuille de papier blanc, et que l'on fixe l'œil fortement sur le centre du rouge, et qu'ensuite on le reporte sur le papier blanc, on voit une tache circulaire de lumière *gris-bleuâtre* de la même dimension que le pain à cacheter. Cette couleur, que l'on appelle la couleur accidentelle du *rouge*, s'efface graduellement. L'image *gris-bleuâtre* du pain à cacheter s'appelle le *spectre oculaire*, parce qu'elle est imprimée sur l'œil et qu'elle y peut demeurer quelque temps.

Si l'on répète cette expérience avec des pains à cacheter de différentes couleurs, on obtient des *spectres oculaires* dont les couleurs varient suivant celles du pain à cacheter employé, ainsi qu'on le voit dans la table suivante.

COULEUR DU PAIN A CACHETER.	COULEUR ACCIDENTELLE OU COULEUR DU SPECTRE oculaire.
Rouge.	Vert-bleuâtre.
Orangé.	Bleu.
Jaune.	Indigo.
Vert.	Violet-rougeâtre.
Bleu.	Rouge-orangé.
Indigo.	Jaune-orangé.
Violet.	Vert-jaunâtre.
Noir.	Blanc.
Blanc.	Noir.

Pour trouver la couleur accidentelle de chacune des couleurs du spectre, prenez avec un compas la moitié de la longueur du spectre, et fixant l'une des branches du compas sur la couleur dont vous cherchez la couleur accidentelle, l'autre branche tombera sur cette couleur accidentelle. La loi des couleurs accidentelles ainsi trouvée par l'observation, peut se formuler de cette manière : la couleur accidentelle de l'une des couleurs du spectre prismatique, est la couleur qui, dans ce même spectre, est distante de la première de la moitié de la longueur du spectre; ou si l'on arrange en cercle toutes les couleurs d'un spectre prismatique, suivant leurs deux proportions, la couleur accidentelle de chaque couleur du spectre sera la couleur exactement *opposée*. C'est par cette raison que la couleur du spec-

tre et la couleur accidentelle ont été appelées *couleurs opposées.*

Si la couleur primitive, ou celle qui impressionne l'œil, est réduite au même degré d'intensité que la couleur accidentelle, on trouvera que l'une est le complément de l'autre, ou ce qui manque à l'autre pour devenir la couleur blanche; c'est-à-dire que la couleur primitive et la couleur accidentelle, réduites au même degré d'intensité qu'elles ont dans le spectre, et mêlées ensemble, constituent la lumière blanche. C'est dans ce sens que les couleurs accidentelles ont été nommées couleurs *complémentaires.*

A l'aide de ces faits, la théorie des couleurs accidentelles se comprend facilement. Quand l'œil a été fixé quelque temps sur le pain à cacheter rouge, la partie de la rétine occupée par l'image rouge est fortement excitée ou en quelque sorte paralysée par son action continue. La sensibilité pour la lumière rouge en est donc conséquemment diminuée, et dès-lors, quand l'œil retourne du pain à cacheter rouge au papier blanc, la portion paralysée de la rétine devient insensible aux rayons rouges qui forment une partie de la lumière blanche du papier, et par conséquent on voit le papier de la couleur qui provient de tous les rayons qui constituent la lumière blanche, à l'exception du rayon rouge, c'est-à-dire d'une couleur *vert-bleuâtre* qui est réellement la couleur complémentaire du rouge du pain à cacheter. Quand un pain à cacheter noir est placé sur un papier blanc, la portion circulaire de la rétine où tombe l'image

noire, au lieu d'être paralysée, est en quelque sorte épargnée par l'absence de la lumière, tandis que toutes les autres parties de la rétine, excitées par le blanc du papier, sont paralysées par cette action continue. Aussi, quand l'œil est dirigé sur le papier blanc, il voit un cercle blanc correspondant à l'image noire impressionnée sur la rétine, en sorte que la couleur accidentelle du noir est la couleur blanche. Par la même raison, si un pain à cacheter *blanc* est placé sur un papier *noir*, et fixé quelque temps, l'œil verra ensuite un espace circulaire noir, ensorte que la couleur accidentelle du blanc est le noir.

Tels sont les phénomènes des couleurs accidentelles, quand on se sert d'une faible lumière; mais lorsque l'œil est puissamment impressionné par une forte lumière blanche, ces phénomènes ont un caractère presqu'entièrement différent. Le premier qui fit à ce sujet quelques expériences avec soin, c'est sir Isaac Newton, qui envoya, sur les résultats à M. Locke, un rapport qui n'a cependant été publié qu'en 1829 (1). Plusieurs années avant 1691, sir Isaac ayant fermé son œil gauche, dirigea son œil droit vers l'image du soleil réfléchie par un miroir. Afin de s'assurer de l'effet produit, il tourna son œil vers un coin obscur de la chambre où il observa une image brillante du soleil entourée d'anneaux colorés. Ce *fantôme de couleurs et de lumière*, comme

(1) Vie du lord Bai, par Locke.

il l'appelle, s'évanouissait graduellement, mais chaque fois qu'il y pensait, il reparaissait et devenait aussi brillant et aussi vif que du feu. Il répéta cette expérience trois fois de suite, et son œil fut impressionné à un tel point, « que quelque peu que je regardasse, dit-il, un nuage, un livre ou un objet brillant, j'y voyais une lumière semblable à celle du soleil, et ce qui est plus étonnant, c'est que quoique je n'eusse regardé le soleil qu'avec mon œil droit et jamais avec l'œil gauche, cependant mon imagination commença à produire sur le gauche la même impression que sur le droit, de manière qu'en fermant l'œil droit, et regardant avec l'œil gauche sur un nuage ou sur un livre, je voyais aussi bien le spectre du soleil que je l'avais vu avec l'œil droit. » L'effet de cette expérience fut tel, que Newton ne pouvant plus ni lire ni écrire, fut obligé de se confiner pendant trois jours dans une chambre sombre; en méditant dans l'obscurité, et fixant son imagination sur d'autres sujets, il parvint, en trois ou quatre jours, à pouvoir de nouveau se servir de ses yeux. Dans ces expériences, sir Isaac s'attacha plutôt au résultat métaphysique qu'à l'effet optique, ensorte qu'il n'a décrit ni les couleurs ni les variations qu'elles éprouvaient.

M. Æpinus a fait des expériences du même genre. Quand le soleil était près de l'horizon, il fixait constamment son œil sur le soleil pendant quinze secondes. En fermant ensuite l'œil, il voyait une image d'un jaune soufre du soleil, avec une belle bordure

rouge. Aussitôt qu'il ouvrait l'œil sur un papier blanc, l'image du soleil était d'un *rouge-brunâtre* entourée d'une bordure *bleue-de-ciel*. En fermant de nouveau l'œil, l'image du soleil devenait verte avec une bordure rouge différente de la première. Ouvrant de nouveau son œil sur un champ blanc, l'image du soleil était encore rouge et sa bordure d'un bleu-de-ciel plus brillant; l'œil se refermant, le spectre vert devenait d'un bleu-de-ciel-verdâtre, puis d'un beau bleu-de-ciel avec une bordure d'un plus beau rouge, et l'œil se rouvrant, le spectre devenait d'un beau rouge, et la bordure d'un beau bleu. M. Æpinus remarqua que lorsque son œil était fixé sur un champ blanc, l'image du soleil disparaissait souvent, revenait, et disparaissait de nouveau.

Vers l'an 1808, je fus conduit à répéter ces expériences d'Æpinus, mais au lieu de regarder un soleil obscur, je profitai d'un beau jour d'été, lorsque le soleil fut en plein midi, et je formai sur un champ blanc une brillante image de son disque à l'aide du speculum concave d'un télescope réflecteur. Mettant un bandeau sur mon œil droit, je vis avec le gauche le disque lumineux à travers le tube, et lorsque la rétine fut puissamment excitée, je tournai l'œil gauche sur un champ blanc, et j'observai les spectres suivans, en l'ouvrant et le fermant alternativement.

SPECTRES, l'œil gauche ouvert.	SPECTRES, l'œil gauche fermé.
1. Cramoisi surmonté de vert.	Vert.
2. Orangé mêlé de cramoisi.	Bleu.
3. Brun-jaunâtre. . .	Violet-bleuâtre.
4. Jaune.	
5. Rouge pur. . . .	Bleu de ciel.
6. Orangé.	Indigo.

En découvrant mon œil droit et le tournant sur un champ blanc, je fus surpris de remarquer qu'il donnait aussi un spectre coloré exactement l'inverse de celui qui était cramoisi, avec une bordure verte. Le spectre renversé était vert avec une bordure rougeâtre. Je répétai trois fois cette expérience, et toujours avec le même résultat, ensorte qu'il semblait que l'impression de l'image solaire était apportée par le nerf optique de l'œil gauche à l'œil droit. Sir Isaac Newton supposait que c'était son imagination qui transmettait l'image de l'œil gauche à l'œil droit; mais nous sommes disposés à croire que dans son expérience aucune transmission n'avait lieu, puisque le spectre qu'il voyait était le même avec l'un ou l'autre de ses yeux, tandis que dans mon expérience, c'était un spectre *inverse*. Nous ne pouvons d'ailleurs prononcer sur ce point, puisque Newton n'ob-

Quand on regarde un pain à cacheter *rouge*, on voit en même temps avec la même portion de la rétine, du *vert*; mais comme il est plus faible, il paraît seulement affaiblir le rouge et le rend en quelque sorte plus blanc par la combinaison des deux sensations. Lorsque l'œil passe du pain à cacheter au papier blanc, la sensation permanente de la couleur accidentelle subsiste, et l'on voit une image *verte*. La durée de l'impression primitive n'est qu'une fraction de seconde, ainsi que nous l'avons déjà dit; mais la durée de l'impression harmonique continue pendant un temps proportionnel à la force de l'impression. Afin d'appliquer ces vues à la seconde classe de faits, nous aurons recours à un autre principe; savoir, que lorsque toute la rétine ou une grande partie de la rétine éprouve la sensation d'une couleur primitive, une portion de la rétine qui n'est pas impressionnée par cette couleur est mise dans l'état qui produit la couleur accidentelle ou harmonique.

Par les vibrations probablement communiquées aux portions environnantes, l'influence de la couleur directe ou primitive n'est pas propagée aux portions libres de son action, excepté dans le cas particulier dernièrement mentionné de la vision optique. Lors donc que l'œil regarde le point blanc de lumière solaire au milieu du rideau rouge, toute la rétine, excepté la portion occupée par l'image du point brillant, est en état de voir tout d'une couleur verte; et comme les vibrations qui constituent cet état s'étendent aux portions de la rétine où n'arrive

pas la lumière rouge, on finit par voir de couleur verte la tache blanche circulaire.

(177.) M. Smith, médecin à Fochabers, a observé un phénomène très-remarquable de couleur accidentelle dans lequel l'œil n'est excité par aucune couleur primitive. Si l'on tient verticalement une bande étroite de papier blanc, à un pied environ (304 mill., 796) de l'œil, et qu'on fixe les deux yeux sur un objet qui en soit à quelque distance; si alors on dirige la lumière du soleil ou celle d'une chandelle de manière à frapper fortement l'œil droit sans atteindre l'œil gauche qu'on peut aisément protéger contre cette lumière, le *bord gauche* du papier sera d'un *vert brillant*, et le bord *droit* sera *rouge*.

Si la bande de papier est suffisamment large pour que les deux images se recouvrent l'une l'autre, la partie recouverte sera parfaitement blanche et sans couleur, ce qui prouve que le rouge et le vert sont complémentaires. Lorsque deux chandelles également lumineuses sont approchées de chaque œil, les deux bords du papier sont blancs; quand l'une des chandelles est approchée plus près de l'œil droit et que les bords du papier sont vus *rouge* et *vert*, si l'on approche soudain l'autre chandelle de l'œil gauche, l'image à gauche du papier se change de suite en *vert*, et l'image à droite en *rouge*.

(178.) Une affection singulière de la rétine, relativement aux couleurs, est celle qui se dénote par l'inhabileté de certains yeux à distinguer certaines couleurs du spectre. Les personnes qui éprouvent

cette inhabileté ont généralement les yeux dans un état sain et capable de s'acquitter des fonctions les plus délicates de la vision. M. Harris, cordonnier à Allonby, était depuis son enfance incapable de distinguer, quant à la couleur, les fruits des feuilles du cerisier. Deux de ses frères avaient le même défaut de vision, et confondaient toujours *l'orangé* et le *vert-gazon*, et le *vert tendre* avec le *jaune*. Harris lui-même ne distinguait que le blanc du noir. M. Scott, qui a, dans les transactions philosophiques, décrit sa propre infirmité, confondait le *cramoisi* avec le *bleu pâle*, et le *rouge foncé* avec le vert foncé. Il distinguait très-nettement toutes les nuances de jaune et de bleu, excepté le bleu-ciel. Son père, son oncle maternel, une de ses sœurs et ses deux fils avaient cette même défectuosité de la vue.

Un tailleur de Plimouth, dont M. Harvey a signalé la vue singulière, regardait le spectre solaire comme composé seulement de *jaune* et de *bleu léger*, et il ne pouvait distinguer nettement que le *jaune*, le *blanc* et le *vert*. Le bleu de Prusse et l'indigo lui semblaient noirs.

M. R. Tucker décrit ainsi les couleurs du prisme :

Rouge, ainsi nommé par erreur au lieu de brun.
Orangé. . . . . vert.
Jaune . . . . . quelquefois orange.
Vert. . . . . orange.
Bleu. . . . . quelquefois cramoisi.
Indigo. . . . . pourpre.
Violet. . . . . pourpre.

Un gentilhomme, au printemps de la vie, dont j'eus occasion d'examiner la vue, ne voyait dans le spectre que du *jaune* et du *bleu*. Quand le milieu d'un espace rouge était absorbé par un verre bleu, il voyait cet espace noir avec ce qu'il appelait jaune, de chaque côté de ce noir. Ce défaut de perception des couleurs fut éprouvé par feu M. Dugald-Stéwart, qui ne pouvait apercevoir aucune différence entre les feuilles et les fruits écarlates du pommier de Sibérie. M. Dalton ne peut distinguer le violet du bleu à la lumière du jour; dans le spectre solaire, le rouge seul lui est visible, et le reste lui paraît consister en deux couleurs. M. Troughton a cette même infirmité, et il ne peut distinguer que le *bleu* et le *jaune;* et quand il nomme les couleurs, les noms de bleu et de jaune correspondent aux rayons plus ou moins réfrangibles; tous ceux qui appartiennent au premier excitant la sensation bleue, et tous ceux qui appartiennent au second la sensation jaune.

Dans presque tous ces cas, les diverses couleurs prismatiques ont le pouvoir d'exciter la sensation de la lumière et de donner une vision distincte des objets, excepté dans le cas de M. Dalton, qui dit être à peine capable de voir l'extrémité rouge du spectre.

M. Dalton a tâché d'expliquer cette particularité de vision en supposant que chez lui l'humeur vitrée est *bleue* et absorbe, en conséquence, une grande portion des rayons rouges et des autres moins réfran-

gibles, mais cette opinion suivant nous n'est pas fondée. M. Herschel attribue cet état de la vision à une défectuosité du sensorium qui le rend incapable d'apprécier exactement les différences qu'il y a entre les rayons dont les couleurs dépendent.

QUATRIÈME PARTIE.

INSTRUMENS D'OPTIQUE.

Tous les instrumens d'optique actuellement en usage, à l'exception des miroirs comburans d'archimède, ont été inventés par les savans et les opticiens des temps modernes. Nous avons expliqué, dans les précédens chapitres, les principes sur lesquels repose la construction de la plupart d'entre eux ; dans les chapitres qui vont suivre nous nous bornerons autant que possible à l'ensemble des rapports généraux de leur construction et de leurs propriétés.

CHAPITRE XXXVII.

Miroirs plans et courbes.

– (179.) Un des instrumens les plus simples d'optique, c'est le miroir *à un seul plan* ou miroir de toilette, qui se compose d'une plaque de verre ou de cristal à surfaces parallèles dont l'une est recouverte d'un amalgame d'étain et de mercure. Le verre, dans cette espèce de miroir plan, ne sert qu'à maintenir polie et brillante la couche mince de métal qui lui est appliquée. Si les surfaces de la plaque de verre ne sont pas parallèles, elle réfléchira obliquement deux, trois ou quatre images d'un objet lumineux; lors même que les surfaces sont parallèles, il y a toujours deux images réfléchies, l'une par la surface plane intérieure du miroir, l'autre par la surface plane métallique intérieure, et la distance entre ces images s'accroît à mesure que l'épaisseur de la glace augmente. L'image réfléchie par la glace est d'ailleurs très-faible comparativement à l'autre, ensorte que, pour l'usage ordinaire, le miroir plan étamé est très-suffisant; mais lorsque le miroir plan fait partie d'un instrument d'optique destiné à manifester les phénomènes de la vision, ce miroir alors doit être d'acier, d'argent, ou d'un alliage de cuivre et d'étain, et il prend le nom de *speculum*. Nous avons décrit avec détails dans le chapitre II la formation des images par les miroirs et par les speculum.

KALEÏDOSCOPE.

(180.) En combinant d'une certaine manière deux miroirs plans et les plaçant dans une position particulière par rapport à l'œil et à l'objet ou à la scène des objets que les miroirs doivent réfléchir, on forme le *kaleïdoscope*, instrument qui crée et reproduit une grande variété de belles images. Soient par exemple AC et BC (fig. 143) les sections des deux miroirs plans et MN l'objet placé entre eux ou en avant de chacun d'eux; le miroir AC réfléchira l'image *mn* de l'objet MN ainsi qu'on le voit dans la figure. De même le miroir BC réfléchira derrière lui l'image M'N'; mais ainsi que nous l'avons montré précédemment, ces images à leur tour peuvent être considérées comme de nouveaux objets que réfléchiront de nouveau, AC par l'image M"N" de l'objet ou de l'image M'N', et BC par l'image M'N' de l'objet ou de l'image *mn*. On trouvera de même que *m"n"* sera l'image réfléchie par BC de l'objet ou de l'image M"N", et de l'objet ou de l'image *m'n'* réfléchie par AC. Il suit de là que *m"n"* est actuellement la réflexion de deux images se recouvrant l'une l'autre et n'en formant qu'une seule, pourvu que l'angle ACB soit exactement de 60° ou un sixième de quatre angles droits 360°. Dans ce cas, les six images du même objet original (qui deux à deux se confondent en une seule *m"n"*), formeront un triangle équilatéral. L'objet MN est dessiné perpendiculaire au miroir BC, ensorte que MN et son image M'N' ne for-

ment qu'une seule et même ligne droite; mais si MN vient à se mouvoir, toutes ses images se meuvent également, et l'ensemble de toutes ces images combinées est une autre image parfaitement régulière, et faisant ressortir les variations les plus belles de toutes les réflexions que l'on peut produire par les méthodes précédemment décrites. Tel est, par rapport à la multiplicité et à l'arrangement des images, le principe du kaleïdoscope; mais le principe de la symétrie essentielle à cet instrument, dépend à la fois de la position de l'objet et de la position de l'œil. Ce principe devient facile à saisir par la figure 144 où ACE et BCE représentent les deux miroirs inclinés sous l'angle ACB, et dont CE est l'intersection commune ou la jonction. Si l'objet est placé à distance comme en MN, aucune position de l'œil en E ou ailleurs ne procurera l'arrangement symétrique des six images que montre la figure 143, car les parties correspondantes de ces images ne pourront jamais se raccorder. Si l'on rapproche l'objet de plus en plus, le défaut de symétrie sera de moins en moins sensible jusqu'à ce qu'il disparaisse entièrement par la position de MN en ABC qui termine les miroirs réflecteurs; mais alors encore la symétrie ne sera parfaite qu'autant que l'œil sera placé aussi près que possible de E, extrémité de la ligne de jonction du réflecteur. Ainsi les conditions suivantes sont les trois conditions de symétrie pour le kaleïdoscope,

1°, Lorsque l'objet est régulier et placé de la

même manière par rapport à l'un et à l'autre des réflecteurs, ces réflecteurs doivent se joindre sous un angle qui soit une partie aliquote *paire* ou *impaire* de la totalité des degrés de la circonférence; si l'objet est irrégulier, il faut de plus que la partie aliquote de la circonférence qui mesure l'angle des deux réflecteurs soit paire.

2°. De toutes les positions en dedans et en dehors des réflecteurs que l'objet peut occuper, il n'y en a qu'une seule qui procure une symétrie parfaite des images, et c'est celle de l'intérieur du triangle déterminé par le plan qui termine la réflection.

3°. De toutes les positions en nombre infini où l'œil peut se placer, il n'y en a qu'une seule où la symétrie soit parfaite, celle la plus voisine possible du sommet de l'angle d'où l'on peut embrasser la totalité du champ circulaire; et c'est le seul point où l'uniformité de la réflexion soit complète.

Afin de varier les figures formées par le kaleïdoscope, on place dans un compartiment étroit ménagé entre deux morceaux de verre circulaires, divers menus objets de verre coloré, tressés à double courbure et de telle manière qu'ils puissent simplement s'y mouvoir pendant que l'on fait tourner à l'aide de la main ce compartiment qui s'ajuste contre le plan où se terminent les réflecteurs. Les images qui se présentent ainsi à l'œil, sont d'une beauté et d'un brillant au-dessus de toute description, et forment un spectacle qui varie à l'infini sans reproduire les mêmes tableaux.

Afin d'ajouter à la magie du kaleïdoscope et d'y introduire divers objets inanimés ou animés, j'ai appliqué une lentille convexe LL (fig. 144) au moyen de laquelle l'image renversée d'un objet éloigné MN se forme à l'extrémité des réflecteurs et se trouve par conséquent rétablie dans son sens naturel et dans une position plus symétrique que celle qu'on pourrait obtenir par tout autre moyen. Dans cette construction, la lentille est disposée dans un tube et les réflecteurs dans un autre tube, de telle sorte qu'en éloignant ou rapprochant de l'œil, comme le verre d'une lentille, cette lentille du kaleïdoscope, l'œil peut voir se reproduire dans une parfaite symétrie tous les objets à quelque distance qu'ils soient placés. C'est ainsi que des fleurs, des arbres, des statues, des animaux, des tableaux, etc., peuvent entrer dans les combinaisons symétriques du kaleïdoscope. Quand la distance EB est moindre que celle à laquelle l'œil perçoit distinctement les objets, il est nécessaire de placer en E une lentille convexe qui donne une image distincte du tableau. (Voyez *mon Traité du Kaleïdoscope.*)

MIROIRS PLANS COMBURANS.

(181.) On peut à l'aide de miroirs plans comburans disposés convenablement, former une machine comburante très-puissante, et il est plus que probable que c'est par ce moyen qu'Archimède parvint à embrâser les vaisseaux de Marcellus. Athanasius Kircher, qui le premier prouva l'efficacité d'un système de miroirs plans pour opérer la combustion à distance, vint avec son élève Scheiner à Syracuse, pour y reconnaître la position de la flotte de Marcellus et ils furent très-satisfaits de s'assurer que les vaisseaux n'avaient pu être à plus de 30 pas de distance d'Archimède.

Buffon a construit un appareil comburant sur ce principe qu'il est facile d'expliquer. Si l'on réfléchit sur la joue la lumière du soleil par un petit morceau de miroir de toilette, on éprouvera moins de chaleur que si la joue recevait l'impression directe de la chaleur du soleil; mais si d'un autre côté l'on réfléchit avec un second miroir la lumière du soleil sur la même joue, la chaleur augmentera, et ainsi de suite jusqu'à ce que la chaleur devienne insupportable par le concours de cinq ou six morceaux de miroir. Buffon combina 168 morceaux de miroir de 6 pouces sur 8, 16 centimètres sur 22, de telle manière qu'au moyen d'un mécanisme simple, on peut diriger sur un même point la réflexion de la lumière du soleil. Ces morceaux de miroir furent choisis de manière à donner l'image

la plus faible du soleil à 250 pieds 83 mètres environ. Voici les effets produits par divers nombres de miroirs :

NOMBRE DE MIROIRS.	DISTANCE DE L'OBJET.		EFFET PRODUIT.
12	20p	(6 à 7m)	Inflammation de légers combustibles.
21	20	(6 à 7)	Inflammation de planches de hêtre.
40	66	(22)	Inflammation de planches de hêtre goudronnées.
45	20	(6 à 7)	Fusion d'un morceau d'étain pesant 6 l. (2.e 3 kil.)
98	126	(42)	Planches goudronnées et sulfurées mises en flamme.
112	138	(46)	Planche couverte de laine mise en flam.
117	20	(6 à 7)	Fusion de pièces minces d'argent.
128	150	(50)	Planche de sapin goudron. mise en flam
148	150	(50)	Planche de hêtre soufrée violemment enflammée.
154	150	(50)	Planche goudronn. violemment enflammée.
154	250	(83)	Morceaux de sapin soufrés et mêlés de charbon, mis en flammes.
224	40	(13)	Plaques d'argent mises en fusion.

Comme il est difficile d'ajuster les miroirs quand le soleil change de place, M. Peyrard propose de produire les effets les plus puissans en montant chaque miroir dans un cadre séparé, portant un télescope au moyen duquel une personne peut diriger les rayons réfléchis sur l'objet à brûler. Il assure qu'avec 590 verres, d'environ 20 pouces de diamètre (25 centimètres). Il pourrait réduire une flotte en cendres, à la distance d'un quart de lieue, et à une demi lieue, avec des verres d'un diamètre double.

Les miroirs plans ont été combinés suivant un arrangement parabolique pour brûler, à l'aide des rayons du soleil, les objets placés au foyer de la parabole, et cette même combinaison parabolique est encore en usage pour les réflecteurs lumineux : la lumière se place au foyer de la parabole.

Miroirs convexes et concaves.

(182.) Nous avons décrit dans le chapitre 11 les propriétés générales des miroirs concaves et convexes. On se sert principalement des miroirs convexes comme ornement; ils sont caractérisés par la propriété de former une image droite et en petit, de tous les objets que l'on place devant eux, et ces images paraissent être placées derrière le miroir.

Les miroirs concaves se distinguent par leurs propriétés de former devant eux et dans l'air, des images renversées des objets droits ou des images droites des objets renversés, placés à quelque distance

en avant de leur foyer principal. Si l'on fait, à l'aide d'un réchaud, un beau nuage transparent de fumée bleue autour du foyer d'un grand miroir concave, on verra se peindre au milieu l'image étincelante d'une grande beauté de quelque objet éclairé. On se sert quelquefois, pour surprendre un ignorant, d'une tête de mort cachée à l'observateur; ou bien, après avoir éclairé ainsi l'image d'un fruit, on y substitue, au moment où le spectateur en approche la main, celle d'un poignard prêt à frapper, que l'on place à l'autre foyer conjugué du même miroir.

Les miroirs concaves servent à la fois de réflecteurs lumineux et de réflecteurs comburans. Quand on les emploie pour réfléchir la lumière, ils sont faits d'une lame de cuivre argentée et façonnée au marteau en forme parabolique : on les polit à la main. Une lampe placée au foyer d'un miroir parabolique distribue, après réflexion, toute sa lumière divergente, suivant un faisceau parallèle qui la projette à une grande distance avec beaucoup d'intensité.

Quand on emploie les miroirs concaves comme comburans, on les fait généralement de forme sphérique; on les travaille et on les polit comme le *speculum* des télescopes. Les plus célèbres furent exécutés par M. Villèle de Lyon, qui en exécuta cinq grands. Le meilleur, qui était d'un alliage de cuivre et d'étain, avait près de 4 pieds de diamètre (1 m., 30) et 38 pouces (9 cent. 50) de longueur focale. Il fondit une pièce de la colonne de Pompée en 50 secondes; une pièce de 25 centimes en 7 secondes 1/2; un sou en

en 16 secondes; de la fonte de fer en 16 secondes; de l'ardoise en 3 secondes, et de la tuile mince en 4 secondes.

Miroirs cylindriques.

(183.) Tous les objets vus par réflexion dans un miroir cylindrique sont nécessairement déformés. Si un observateur se regarde dans un miroir de ce genre, dont l'axe soit vertical, il y verra, en se tenant verticalement, l'image de sa tête de la même longueur que, l'original, parce que, suivant cette direction verticale, la surface du miroir est une ligne droite verticale. La largeur de la face sera grandement déformée dans une direction horizontale, parce que la surface du miroir est très-convexe dans cette direction et dans les directions intermédiaires; la largeur de la tête aura des déformations intermédiaires. Si l'axe du miroir devient horizontal, la figure sera de largeur naturelle, mais excessivement courte. Si la figure MN est placée horizontalement devant le miroir AB (fig. 145), l'image réfléchie de cette figure sera fortement déformée; mais cette figure peut être dessinée difforme, suivant certaines lois, de manière à ce que son image dans le miroir cylindrique apparaisse correcte dans toutes ses proportions.

Les miroirs cylindriques, qui ne sont pas encore très-communs, sont en usage pour rétablir, dans leurs proportions de nature, des figures dessinées difformes, et qui à l'œil ne présentent ni forme ni traits; mais qui, réfléchis dans ces miroirs, s'y peignent dans

les proportions les plus correctes. La figure 145 offre un exemple de cet amusement; MN est le dessin difforme dont l'image dans le miroir AB est un portrait régulier.

CHAPITRE XXXVIII.

Lentilles simples et composées.

Les besicles et les lunettes sont les plus simples de tous les instrumens d'optique, et ceux dont l'usage est le plus général. Pour rendre distincts à une petite distance les objets d'une grande ténuité, des caractères très-fins, une lentille convexe à foyer très-court peut servir également à tous ceux qui ont les yeux mauvais, soient qu'ils aient la vue courte ou longue.

Quand une personne qui a la vue courte et qui ne peut voir distinctement à quelque distance, veut rétablir la vision distincte à cette distance, il faut qu'elle se serve d'une lentille concave dont la longueur focale se détermine ainsi : multipliez la distance à laquelle les objets ne vous sont plus distincts, par la distance à laquelle vous les voulez distincts avec une lentille concave, et divisez le produit par la différence de ces mêmes distances.

Une personne qui a la vue longue et qui ne peut de près voir distinctement les objets, doit se servir

d'une lentille convexe dont la longueur focale se trouve encore par la règle précédente.

Pour choisir des lunettes, le meilleur moyen est d'essayer, parmi un certain nombre, celles qui répondent le mieux à l'objet que l'on se propose.

Le docteur Wollaston a fait connaître un nouveau genre de lunettes appelées *périscopiques*, à raison de leur propriété d'offrir un champ de vision plus considérable et plus distinct que celui que fournissent les lunettes les plus ordinaires. Les lentilles qui servent à leur construction sont les meniscus et les concaco-convexes, désignées par H et par I dans la figure 19, dans lesquelles la convexité prédomine pour les personnes qui ont la vue longue, et la concavité pour celles qui ont la vue courte. Mais décidément les lentilles périscopiques procurent une vision plus imparfaite que les lunettes ordinaires, parce qu'elles accroissent à la fois l'aberration de figure et de couleur, mais on peut s'en servir dans une cité populeuse pour prévenir de l'approche oblique des objets.

LENTILLES COMBURANTES ET ILLUMINANTES.

(184.) Les lentilles convexes possèdent des avantages particuliers pour concentrer les rayons du soleil et pour concentrer à de grandes distances un faisceau combiné et parallèle de rayons lumineux. M. Buffon a trouvé qu'une lentille convexe, d'une grande longueur focale, était préférable à une lentille d'une courte longueur focale, pour la fusion des

métaux par la concentration des rayons solaires. Par exemple, une lentille de 32 pouces (813 millimètres) de diamètre et de 6 pouces (152 mill.) de longueur focale, avec un foyer de 8 lignes (17 mill.) de diamètre, fondait le cuivre en moins d'une minute, tandis qu'une petite lentille de 32 lignes (68 mill.) de diamètre et un foyer de 2/3 de ligne (14 dix mill.), était à peine capable de chauffer le cuivre.

La lentille comburante la plus parfaite qui ait jamais été construite, est celle exécutée par M. Parker, de Fléet-Stréet, et qui a coûté 700 l. (16,800 francs). Elle était de flint-glass, de 3 pieds (914 mill.) de diamètre, et pesait 212 pounds (96 kil.). Elle avait à son centre 3 pouces 1/4 (82 mill.) d'épaisseur; la distance focale était de 6 pieds 8 pouces (2031 mill.), et le diamètre de l'image du soleil à son foyer était d'un pouce (25 mill.). Les rayons réfractés par cette lentille étaient reçus par une seconde lentille au foyer de laquelle on plaçait les objets à mettre en fusion. Cette seconde lentille avait 13 pouces (330 mill.) de diamètre; son épaisseur au centre était de 1 pouce 5/8 (41 mill.), et sa longueur focale de 29 pouces (737 mill.). Le diamètre de l'image focale était de 3/8 de pouce (95 dix mill.) La longueur focale combinée des deux foyers était de 5 pieds 3 pouces (1600 mill.), et le diamètre de l'image focale de 1/2 pouce (13 mill.) Au moyen de cette puissante lentille comburante, le platine, l'or, l'argent, le cuivre, l'étain, le quartz, l'agate, le jasps, le

silex, la topaze, le grenat, l'asbeste, etc., étaient mis en fusion en peu de secondes.

Plusieurs raisons ont empêché les physiciens de construire des lentilles comburantes d'une plus grande dimension que celle de M. Parker. L'impossibilité de se procurer du flint-glass suffisamment pur et net de toute veine et de toute impureté pour une lentille considérable; la difficulté et la dépense de le couler sous forme lenticulaire exempte de défauts et d'impuretés; le grand accroissement d'épaisseur qui devient nécessaire par l'augmentation du diamètre de la lentille; le grand empêchement que cette épaisseur oppose à la transmission des rayons solaires; l'aberration croissante qui disperse les rayons au point focal, tels sont les obstacles insurmontables qui s'opposent à la construction de lentilles comburantes d'une grande étendue.

(185.) Afin d'essayer une lentille d'une seule pièce dont A*mp*BEDA représente la coupe, Buffon proposait de tailler tout le cristal qui est laissé en blanc dans la figure 46, c'est-à-dire la partie entre *mp* et *no*, et la partie entre *no* et ce qui est à gauche de la surface DE. Une semblable lentille serait incomparablement supérieure à la lentille pleine A*mp*BEDA, mais la confection en serait impraticable sur une grande échelle, à raison de l'extrême difficulté de polir les surfaces A*m*, B*p*, C*n*, F*o*, et la portion à gauche de la surface DE; et même, s'il était possible de polir ces surfaces, on aurait tou-

jours à craindre les plus grandes imperfections dans les portions de cristal réservées.

Pour éviter ces difficultés et construire une lentille d'une certaine dimension, j'ai proposé en 1811 de la former de zônes séparées ou anneaux, dont chacune serait elle-même formée de segmens séparés ainsi qu'on le voit dans la lentille représentée figure 147. Cette lentille se compose d'une lentille centrale ABCD, correspondant à la coupe DE de la figure 146 d'une zône intermédiaire GELI correspondant à CDEF de la figure 146, et formée de cinq segmens; enfin d'une autre zône NPRT correspondant à ACFB de la figure 146, et formée de huit segmens.

Cette construction donne les moyens d'exécuter, en flint-glass trés-pur, sans défauts et sans veines, ces lentilles à qui j'ai donné le nom de *polyzonales*, et qui possèdent un autre avantage très-grand, celui de permettre de corriger presqu'entièrement, en faisant coïncider les foyers de chaque zône, l'aberration sphérique. Une de ces lentilles fut construite sous ma direction par MM. P. et W. Gilbert, facteurs des phares du Nord. Elle fut faite de pur flint-glass, en plusieurs zônes et segmens formant un tout de 3 pieds (914 mill.) de diamètre. On a fait en France de semblables lentilles en crown-glass, et on s'en est servi dans les principaux phares français, où elles sont infiniment plus convenables que les meilleurs miroirs métalliques de forme parabolique.

Une lentille polyzonale de 5 pieds (1523 mill.) de diamètre sera bientôt exécutée comme lentille comburante, et sera sans doute la plus puissante que l'on ait jamais vue. Les moyens de l'exécuter sont dus en grande partie à la libéralité de MM. Swinton, Calder, et autres habitans de Calcutta.

CHAPITRE XXXIX.

Prismes simples et composés.

LENTILLES PRISMATIQUES.

(186.) Nous avons déjà expliqué les propriétés du prisme pour la décomposition et la réfraction de la lumière, mais il nous reste à décrire ses applications comme instrument d'optique ou comme partie importante des instrumens d'optique.

Un prisme rectangulaire ABC (fig. 148) fut employé d'abord par Newton comme miroir plan, pour réfléchir vers un côté les rayons qui forment l'image dans un télescope réflecteur. Les angles BAC, BCA, étant chacun de 45°, moitié d'un angle droit, et B étant un angle droit, les rayons tombant sur la face AB seront réfléchis en arrière de la face BC, comme si c'était un miroir plane métallique; car quelle que soit la réfraction qu'ils éprouvent en pénétrant la

face AB, ils en éprouvent une semblable et en sens inverse à la face BC. La grande valeur de ce genre de miroir consiste à ce que les rayons incidens *sont tous complètement réfléchis* lors même que ces rayons incidens arrivent à AC sous un angle plus grand que celui où la réflexion totale commence, et que pas un seul rayon n'est perdu, tandis que dans le meilleur spéculum métallique, il y a près de la moitié de la lumière perdue. Cependant il y a un peu de lumière perdue par la réflexion, sur les deux surfaces AB et BC, et il y a un peu de lumière absorbée par le verre lui-même. Newton proposait aussi des prismes convexes, comme DEF dont les faces DF, FE sont taillées convexes. Un prisme analogue, appelé *prisme meniscus*, a été employé à Paris par M. Chevalier pour la chambre noire; il ne diffère de celui de Newton que par la seconde face IH, qui est concave au lieu d'être convexe.

A raison de la difficulté de confectionner ces prismes, j'ai proposé de se servir d'une lentille hémisphérique LMN dont les deux surfaces convexes sont façonnées en même temps. Lorsque l'on a besoin d'une plus grande longueur de foyer, on peut placer à sa surface inférieure une lentille concave RQ d'une plus grande longueur de foyer que l'hémisphère PRQ; et si la lentille concave est formée d'une substance d'un pouvoir dispersif différent, on peut la faire de manière à corriger la couleur de la lentille convexe.

On se sert d'un seul prisme avec un avantage particulier pour renverser les faisceaux de lumière ou

pour obtenir une image droite des faisceaux qui les présenteraient renversés. La figure 149 offre un prisme de ce genre : ABC est un prisme rectangulaire, et RR'R" des faisceaux parallèles de lumière qui, après avoir été réfractés aux points 1, 2, 3 de la face AB et réfléchis aux points *a*, *b*, *c* de la base BC, sont de nouveau réfractés aux points 1, 2, 3 de la face AC, et mus dans des directions parallèles $3r''$, $2r'$, $1r$; le rayon RI étant ainsi devenu I*r*.

PRISMES COMPOSÉS ET VARIABLES.

(187.) La grande difficulté d'obtenir du cristal suffisamment pur pour des prismes d'un certain volume, a rendu très-rares les bons prismes d'une certaine dimension, et n'en a pas permis l'emploi dans les instrumens de physique où ils eussent été employés sans cela. Le principe sur lequel repose la construction des lentilles polyzonales est également applicable aux prismes. Un prisme AD ainsi construit (fig. 150), s'il est bien exécuté, aura exactement les mêmes propriétés qu'aurait le prisme ABC, et lui sera incontestablement supérieur à raison du peu d'épaisseur de cristal que traverse la lumière. Il serait sans doute difficile d'exécuter un prisme tel que AD d'une seule pièce, quoique cela ne soit pas impraticable ; mais il n'y a aucune difficulté d'exécution avec six petits prismes taillés dans la même baguette prismatique, et dès lors entièrement semblables. Le sommet du prisme aura une petite face

plane parallèle à la base qu'il sera facile de lui donner si la baguette prismatique a été taillée dans une plaque de cristal d'une épaisseur bien égale. Les prismes séparés étant réunis l'un à l'autre, ainsi qu'on le voit dans la figure, formeront un prisme composé qui sera supérieur à un prisme d'une seule pièce, toutefois lorsqu'il s'agira uniquement de réfraction.

(188.) Boscovich a proposé un prisme composé de différentes pièces, avec un angle variable; ce prisme est représenté dans la figure 151; AB est une lentille convexe hémisphérique qui se meut dans une lentille concave DEC de même courbure. En faisant tourner l'une des lentilles dans l'autre, l'inclinaison des faces AB, DE, ou AB, CE peuvent varier depuis o jusqu'à 90°.

(189.) Comme cet appareil est à la fois d'une exécution et d'une pratique difficile, je me suis servi d'un principe entièrement différent pour la construction d'un prisme variable que j'ai employé à un grand nombre d'expériences sur le pouvoir dispersif des corps. Si l'on produit une ligne verticale de lumière en fermant presqu'entièrement les volets d'une chambre, et que l'on regarde cette ligne avec un prisme de flint-glass dont l'angle réfracteur soit de 60°, le bord de l'angle réfracteur étant maintenu vertical ou parallèle à la ligne de lumière, la ligne lumineuse apparaîtra comme un spectre brillamment coloré, et chacune des portions de ce spectre ressemblera exactement au spectre solaire. Si alors on

tourne le prisme sur le plan de l'une de ses faces réfractives, de manière que l'inclinaison du bord vers la ligne lumineuse s'accroisse graduellement de 0 à 90°, où cette inclinaison est perpendiculaire à la ligne lumineuse, le spectre deviendra graduellement de moins en moins coloré, exactement comme s'il était formé par un prisme dont l'angle réfracteur fût moindre graduellement, jusqu'à ce qu'à 90° il n'y ait plus aucune trace de couleur. Par ce simple procédé et en se servant d'une ligne lumineuse au lieu d'un disque lumineux, on produit exactement le même effet que si l'angle réfracteur du prisme variait de 90° à 0°.

(190.) Supposons maintenant que l'on ait à déterminer les pouvoirs dispersifs du flint-glass et du crown-glass. On place le prisme de crown-glass de manière à produire avec la ligne de lumière blanche le plus grand spectre possible, et l'on fixe à 40° l'angle réfracteur du prisme. On place ensuite entre ce prisme et l'œil, le prisme de flint-glass et on le fait tourner ainsi qu'on l'a dit ci-dessus, jusqu'à ce qu'il corrige la couleur produite par le prisme de crown-glass ou jusqu'à ce que la ligne lumineuse soit parfaitement incolore. L'inclinaison du bord du prisme de flint-glass par rapport à la ligne lumineuse étant connue, on peut aisément trouver par une simple formule l'angle du prisme de flint-glass qui corrige la couleur du prisme de crown-glass avec un angle réfracteur de 40°. Voyez mon *Traité des nouveaux instrumens de physique*, p. 291.

MIROIR MULTIPLIANT.

(191.) Cette lentille, qui sert à multiplier les images d'un même objet, est plus amusante qu'utile. Quoiqu'elle ait la forme circulaire d'une lentille, ce n'est autre chose qu'un certain nombre de prismes formés par les facettes planes d'un verre plano-convexe qui est représenté figure 152. AB est la section du miroir multipliant dont on ne voit que trois plans ou facettes. L'image directe de l'objet C est vue à travers la face GH par l'œil placé en E; une autre image est vue en D par la réfraction de la face HB, et une troisième en F par la réfraction de la face AG : chacune des facettes représentant ainsi une image de l'objet. L'image C est vue sans couleur, et toutes celles formées par les plans inclinés à AB sont colorés en proportion des angles que ces plans forment avec AB.

On trouve des miroirs multiplians naturels parmi les minéraux transparens où se croisent des faces opposées cristallisées, lors même que ces minéraux sont en plaques à plans parallèles. Quelques échantillons de spath d'Islande offrent ainsi un miroir qui reproduit plus de cent fois des images colorées d'un même objet. La théorie de ces miroirs multiplians a été déjà expliquée dans le chapitre 29.

CHAPITRE XL.

Chambre obscure, lanterne magique, et chambre claire (camera lucida).

(192.) La *chambre obscure* ou *chambre noire* est un instrument d'optique utile et amusant qui fut inventé par le célèbre Baptista Porta. C'était d'abord une chambre dont les murs étaient noircis et qui n'avait d'autre ouverture qu'un trou dans un volet, auquel on adaptait une lentille convexe d'un pied (305 mill.) ou plus de longueur focale. Si l'on place une feuille de papier blanc au foyer de la lentille, et perpendiculairement à cette lentille, tous les objets extérieurs viendront s'y peindre avec leurs couleurs naturelles, les arbres et les nuages s'y montrant agités du même mouvement que dans l'air, et tous les objets vivans y déployant les mêmes poses et les mêmes gestes que dans la nature; la ressemblance parfaite entre cette image et la nature procure chaque fois un nouveau plaisir et de l'étonnement même à ceux qui ne la voient pas pour la première fois. L'image cependant est renversée, et on ne la voit droite qu'en regardant le papier par-dessus. Le fond sur lequel on reçoit l'image doit être concave et former une portion de sphère dont le rayon est la distance focale de la lentille convexe. Il est d'usage au reste que ce fonds soit en plâtre de Paris, le plus blanc et le plus uni possible.

Pour que l'image puisse être vue facilement par plusieurs personnes à la fois, et qu'on puisse la copier, il faut que l'image soit formée sur une table horizontale, ce à quoi l'on parvient à l'aide d'un miroir métallique incliné de manière à réfracter les rayons sous un angle de 45°, et qui réfléchit l'image sur le fonds blanc placé horizontalement. Dans les chambres obscures portatives, le miroir métallique réfléchit l'image sur une plaque de verre dépoli, de manière qu'on peut le calquer à l'aide du papier transparent.

La figure 153 représente une chambre obscure portative très-commode pour dessiner le paysage ou tout autre objet. AB est une lentille *meniscus* dont la concavité est en dessus et dont le rayon de la convexité est à celui de la concavité dans le rapport de 5 à 8; CD est un miroir métallique incliné de 45° par rapport à l'horizon, de manière à réfléchir sur la lentille le paysage et les objets environnans. Le dessinateur introduit sa tête par une ouverture pratiquée à l'une des parois de la chambre portative, et la main armée d'un crayon par une autre ouverture; chacune de ces ouvertures est refermée par un rideau qui ne permet pas à la lumière de s'introduire dans la chambre et sur le papier où l'on dessine, EF. Le tube qui contient la lentille et le miroir peut se mouvoir par un rouage placé dans l'intérieur de la chambre et à l'aide duquel le dessinateur peut faire changer au besoin l'inclinaison du

miroir, de manière à apercevoir les objets plus ou moins élevés par rapport à l'horizon.

Lorsque la chambre obscure est disposée pour une exposition publique, elle est construite de la même manière dans toutes ses parties; seulement, dans ce cas, on la place sur le sommet d'un édifice, et la rotation du miroir, ainsi que son mouvement dans un plan vertical, s'effectuent à l'aide de deux rouages à portée du spectateur qui peut ainsi introduire dans le tableau toute espèce d'objet de tous les points du compas et à toute distance. L'image est reçue sur une table revêtue de stuc, et dont la surface, du même rayon que la lentille, peut s'élever ou s'abaisser suivant le changement de foyer produit par la distance des objets. On peut, sans miroir intermédiaire, obtenir l'image sur une surface horizontale, à l'aide de l'un des prismes lenticulaires DEF, GHI, LMN, PRQ (fig. 148) qui rendent les objets entièrement distincts. Les surfaces convexes de ces prismes font converger les rayons qui sont réfléchis à leurs foyers par les faces planes DE, GH, LN, PQ; ces prismes lenticulaires peuvent se construire en exécutant sur les faces AB, BC du prisme rectangulaire ABC des lentilles plano-concaves, ou bien en plaçant une lentille convexe près de AB.

Si l'on veut avoir l'image droite sur un plan vertical, le prisme ABC (fig. 148) doit être placé en face de la lentille convexe ou immédiatement der-

rière. Ce même effet peut être produit par trois réflexions successives de miroirs ou spécula.

J'ai trouvé un effet très-brillant dans les images produites par la chambre obscure, en les recevant sur une plaque argentée ou sur un miroir de toilette dont la face avait été adoucie par le frottement d'une pierre à rasoir plane et polie. Dans la chambre obscure portative, j'ai trouvé qu'une pellicule de lait écrêmé, séchée sur une plaque de verre, était supérieure pour la réception de l'image au verre dépoli.

On a appelé *megascope* une modification de la chambre obscure faite pour aggrandir les images des petits objets placés près de la lentille. Dans ce cas, la distance de l'image, derrière la lentille, est plus grande que la distance de l'objet devant la lentille. En faisant varier la distance de l'objet, on réduit ou on augmente la grandeur de l'image. La lentille hémisphérique LMN (fig. 148) est particulièrement applicable au megascope.

LANTERNE MAGIQUE.

(193.) La lanterne magique est une invention de Kircher; elle est représentée dans la figure 154; L est une lampe d'argand placée dans une lanterne sourde. Sur l'un des côtés de la lanterne est un miroir concave MN dont le sommet est opposé à la flamme de la lampe placée au foyer de ce miroir Au côté opposé de la lanterne est adapté un tube AB contenant une lentille hémisphérique éclairante

A, et une lentille convexe B. Entre A et B, le diamètre du tube est augmenté de manière à former une coulisse CD dans laquelle puisse s'introduire les verres peints de la lanterne magique. Cette peinture se fait haute en couleur et au vernis transparent : en la glissant dans la coulisse CD, chacun des sujets qu'elle représente se trouve dans l'axe du tube et entre les deux lentilles A et B. La lumière de la lampe L, accrue par la réflexion du miroir MN, et tombant sur la lentille A, est concentrée par cette lentille sur la peinture placée dans la coulisse CD, et cette peinture étant l'un des foyers conjugués de la lentille B, son image agrandie se représente sur un drap blanc ou sur un écran de papier E placé ou suspendu verticalement. La distance de la lentille B à l'objet placé dans la coulisse peut être augmentée ou diminuée en allongeant ou raccourcissant le tube B, de manière à ce que l'on obtienne une image distincte suffisamment grande et à quelque distance de B, cette distance pouvant ainsi varier dans des limites convenables. Si l'écran est fait d'un papier argenté semi-transparent ou d'une mousseline fine convenablement préparée, l'image sera vue distinctement par un spectateur placé derrière cet écran.

(194.) La *fantasmagorie* n'est autre chose qu'une lanterne magique dans laquelle les images sont reçues sur un écran transparent qui est fixé à la vue des spectateurs. La lanterne magique est montée sur des roues, de manière à s'approcher ou

à s'éloigner à volonté de l'écran; et c'est à raison de cette mobilité de la lanterne magique qui s'approche ou se recule à volonté, que les images représentées sur l'écran sont d'une grandeur gigantesque ou d'une telle petitesse qu'elles finissent par ne paraître qu'un point lumineux. La lentille B est faite de manière à s'éloigner de la coulisse CD quand la lanterne approche de l'écran, et à s'en rapprocher quand la lanterne s'éloigne de l'écran, afin que l'image sur l'écran soit toujours distincte. Ce double mouvement peut s'opérer, suivant le docteur Young par de simples bâtons ou leviers qui, appuyés contre l'écran font sortir ou rentrer le tube B; mais nous pensons qu'un mécanisme attaché aux roues de la machine, remplit ce but d'une manière plus élégante et plus complète.

CAMÉRA LUCIDA.

(195.) Cet instrument, inventé en 1807 par le docteur Wollaston, est devenu d'un usage général pour le dessin du paysage, de l'histoire naturelle, et pour la copie ou la réduction de toute espèce de dessin.

La forme de l'instrument du docteur Wollaston est représentée dans la figure 155. ABCD est un prisme de cristal dans lequel l'angle BAD est de 90°, ADC de 67° 1/2 et DCB de 135°. Les rayons provenant d'un objet quelconque MN après avoir été réfléchis par les faces DC, CB arriveront en E à

l'œil du spectateur placé à l'angle B et qui verra l'image *mn* de l'objet MN projetée en *mn* sur une feuille de papier blanc. Si maintenant l'œil est appliqué assez près de l'angle B pour que la vision s'étende d'une part dans le prisme, et de l'autre par-dessus l'angle B, elle embrassera à la fois l'image *mn*, le papier et la pointe du crayon destinée à tracer cette image sur le papier. Le dessinateur n'a donc plus qu'à suivre avec son crayon les contours de l'image en maintenant son œil moitié sur l'angle B, moitié au-dessus pour embrasser ainsi du même coup-d'œil l'image, le papier et la pointe du crayon.

Quelques personnes ont acquis l'habitude de se servir très-facilement de cet instrument, tandis que d'autres n'ont pu y réussir. En examinant les causes de non réussite, le docteur Amici de Modène, les a fait disparaître par divers appareils exempts du défaut de l'instrument de Wollaston (1). Celui de ces appareils que M. Amici regarde comme le meilleur, est représenté dans la figure 156 : ABCD est une plaque épaisse de cristal à faces parallèles ; FGHC est un miroir métallique dont la face FG est du plus beau poli et inclinée de 45° par rapport à BC. Les rayons de l'objet MN après avoir passé à travers le cristal ABCD, sont réfléchis par FG et

(1) On trouvera un rapport sur ces divers appareils dans le *Journal des Sciences* d'Edimbourg, N° V, page 157.

concave; mais comme leur parfaite exécution exige beaucoup d'adresse, on leur a souvent substitué de petites sphères. Le docteur Hook exécutait ces sphères de la manière suivante : après avoir à la flamme d'une lampe roulé en boule une mince baguette de verre, il approchait cette boule de la flamme jusqu'à ce qu'elle se fondit en un globule. Ce globule était ensuite placé dans une petite lunette, de manière à ce qu'aucun rayon ne put s'échapper entre le globule et la lunette qui l'enfermait; quelquefois on abattait la tête du globule et on polissait cette partie de la sphère. Le père Torre de Naples confectionnait ces globules en les plaçant dans les petites cavités d'un morceau de tripoli calciné et les fondant ensuite au chalumeau, ce qui leur donnait une forme parfaitement sphérique. M. Butterfield exécutait de semblables sphères en prenant à la pointe d'une aiguille mouillée un peu de poussière fine de verre et la réduisant en globule par la flamme d'une lampe à esprit de vin; si la partie qui touchait l'aiguille n'était pas bien fondue, il ôtait le globule de l'aiguille, et le fixant d'un autre côté sur une aiguille mouillée, il le présentait de nouveau à la flamme de la lampe jusqu'à ce que le globule devînt une sphère parfaite. M. Sivright de Meggetland a fait des lentilles en plaçant de petits morceaux de verre dans de petits trous ronds de 1/10 à 1/20 de pouce de diamètre (2 millimètres, 5 à 5 millimètres), pratiqués dans une plaque de platine. On les fondait au chalumeau de manière que les lentilles se trouvaient

faites et placées en même temps. M. Stephen Gray a fait des globules pour servir de microscopes, en plaçant des gouttes d'eau dans de petits trous ronds. J'en ai fait de la même manière avec des huiles et du vernis; mais le plus beau de tous les microscopes simples peut s'exécuter en formant, sur une plaque de verre, de petites lentilles plano-convexes avec différens fluides. J'ai obtenu aussi d'excellens microscopes avec la lentille cristalline sphérique des yeux d'ablette et d'autres petits poissons, en ayant soin que l'axe de la lentille fût l'axe de la vision, ou que l'observateur regarde à travers cette lentille de la même manière que le fait le poisson (1).

Les microscopes simples les plus parfaits qui jamais aient été exécutés avec des substances solides, sont ceux faits avec du grenat, du rubis, du saphir et du diamant. J'ai indiqué les avantages de ces lentilles dans mon *Traité sur les instrumens de Physique*, et deux lentilles, l'une de rubis et l'autre de grenat, ont été exécutées pour moi par M. Peter-Hill, opticien à Edimbourg. Ces lentilles admirablement confectionnées, en conséquence de leur produit avec des surfaces de courbure moindre, avaient le même pouvoir grossissant qu'une lentille de verre; et la netteté de l'image était accrue par l'absorption du rayon bleu de l'extrémité du spectre. M. Pritchard de Londres a porté cette branche d'industrie à la

(1) Voyez *Journal des Sciences* d'Edimbourg, N° III, page 98.

plus haute perfection et a exécuté des lentilles de saphir et de diamant qui sont de véritables chefs-d'œuvre.

Quand on peut se procurer du diamant parfaitement pur et libre de double réfraction, on peut le confectionner en lentilles de la plus grande perfection ; mais le saphir à double réfraction est toujours moins convenable pour cet objet. Le grenat est décidément la meilleure matière pour de simples lentilles, parce qu'il n'a pas de double réfraction, et qu'avec un peu d'attention, on peut le choisir très-pur et très-homogène. J'ai en ma possession maintenant deux microscopes en grenat, exécutés par M. Adie, et qui surpassent de beaucoup toutes les lentilles simples de substance solide que j'ai vues. Leur longueur focale est entre 1/30 et 1/50 de pouce (0 millimètre, 8466 et 0 millimètre, 5019) M. Veitch d'Inchbonny a aussi exécuté quelques lentilles avec l'admirable grenat de Groenland, échantillon de ce minéral que m'avait donné sir Charles Gieseckè.

(197.) La figure 157 représente un microscope simple que j'ai trouvé il y a quelques années, et qui consiste dans une nouvelle manière de *se servir d'une lentille hémisphérique pour en obtenir* LE DOUBLE *du pouvoir grossissant qu'elle a quand on s'en sert* de la manière ordinaire. ABC étant une lentille hémisphérique, tous les rayons qui partent d'un objet R, sont réfractés d'abord par la première surface AC et après une réflexion totale par le plan

e la surface BC, ils sont de nouveau réfractés par a seconde surface BA et s'émergent dans des direcions parallèles *d*, *e*, *f*, exactement de la même maière que s'ils n'eussent pas été réfléchis aux points *a*, *b*, *c*, mais qu'ils eussent passé à travers la demiphère BA'C de la sphère totale ABA'C. L'objet R era donc grossi de la même manière, et sera vu ussi distinctement que s'il eût été vu à travers la entille sphérique de verre ABA'C. On obtient ainsi ar cette invention tous les avantages d'une lentille phérique que je ne pense pas qu'on puisse exécuter n la coulant. Le principe périscopique que nous allons mentionner, peut être communiqué à cette lentille *catoptrique* ainsi qu'on l'appelle, en arrondissant simplement les angles B, C, ou en moulant une surface annulaire à la place de la surface plane BC. La confusion qui provient de la réfraction oblique peut être ainsi évitée, et les faisceaux lumineux de chacun des points de l'objet tomberont symétriquement sur la lentille et seront symétriquement réfractés.

Avant que j'eusse songé à cette lentille, le docteur Wollaston avait préparé pour la confection des lentilles la méthode suivante (fig. 158) : il introduisait entre deux lentilles plano convexes d'égale épaisseur et de même rayon, une plaque de métal avec un trou circulaire dont le diamètre était 1/5 de la longueur focale, et quand l'ouverture était bien centrée il trouvait que le champ visible était de 20. Dans cette lentille composée, les faisceaux obliques

passent comme les faisceaux du centre à angles droits à la surface. Si l'on compare cette lentille à la lentille *catoptrique* que nous venons de décrire, on verra que l'effet produit avec deux surfaces sphériques et deux surfaces planes faites séparément dans l'un des cas, est le même que l'effet produit dans l'autre avec une surface sphérique et une surface plane.

(198.) L'idée du docteur Wollaston peut être utilement exécutée par d'autres moyens, en remplissant l'ouverture centrale par un ciment du même pouvoir réfractif que les lentilles ou ce qui est bien mieux, en prenant une sphère de verre et ajustant les parties équatoriales de manière à limiter l'ouverture centrale, ainsi qu'on le voit dans la fig. 159. Cette construction exécutée en grenat, en s'en servant avec une lumière homogène, peut devenir le meilleur des microscopes simples, ou le meilleur objectif des microscopes composés.

Quand on se sert du microscope simple pour des objets opaques, la lentille est placée dans un speculum concave d'argent qui concentre les rayons parallèles ou convergens sur la face de l'objet près de l'œil.

MICROSCOPES COMPOSÉS.

(199.) Quand un microscope se compose de deux ou plusieurs lentilles ou specula, dont l'un forme une image étendue des objets, tandis que l'autre grossit cette image, on l'appelle *microscope composé*.

La figure 160 représente les lentilles et leur effet : AB est l'objectif et CD le verre où s'applique l'œil. Un objet MN placé à une distance de AB un peu plus grande que celle de son foyer principal, reproduira son image grossie et renversée en *mn*. Si cette image grossie est dans le foyer d'une autre lentille CD, placée plus près de l'œil qu'elle ne l'est dans le dessin, elle sera grossie de nouveau et de la même manière que si *mn* était l'objet lui-même. L'effet grossissant de la lentille AB se trouve en divisant la distance de l'image *mn* à la lentille AB par la distance de l'objet lui-même MN à cette même lentille AB; et l'effet du verre grossissant CD est donné par la règle trouvée pour les microscopes simples; en multipliant ces deux nombres l'un par l'autre, on trouvera l'effet total du microscope composé. Ainsi MA étant 1/4 de pouce (6 millimètres, 349), et *en* 1/2 pouce (12 millimètres, 69), et *mn* étant dans le foyer de CD, l'effet de la lentille AB sera exprimé par 20, celui de la lentille CD par 10 et l'effet total par 200. Une lentille EF que l'on appelle le verre de champ et plus grande que chacune des deux autres AB, CD, est généralement placée entre AB et l'image *mn*, dans le but d'agrandir le champ de la vision. Ce verre de champ diminue l'effet grossissant du miroir composé en formant une image intermédiaire plus petite *pv* qui est grossie par CD.

Le talent des savans et des artistes a été presqu'entièrement épuisé dans la recherche des

formes les meilleures à donner à l'objectif et au verre où s'applique l'œil pour un microscope composé. M. Coddington a recommandé l'emploi de quatre lentilles représentées dans la figure 161, pour le verre du microscope composé où s'applique l'œil; il emploie en outre pour objectif une sphère excavée à l'équateur, comme dans la figure 159, afin de diminuer l'aberration et la dispersion. « Avec une sphère, dit-il, taillée convenablement au centre, de manière à réduire à presque rien l'aberration et la dispersion, ce qui peut s'exécuter complètement et facilement ainsi que je l'ai prouvé, toute l'image est parfaitement distincte quelqu'étendue qu'on lui donne, et le rayon de sa courbure n'est pas moindre que la longueur focale, de manière qu'une difficulté est entièrement éloignée et que l'autre est diminuée au moins de moitié. Il paraît résulter en outre de cette construction un autre avantage que je ne pouvais d'avance prévoir et dont je ne puis encore rendre raison. J'ai établi que lorsqu'un faisceau admis dans l'œil après avoir passé sans déviation à travers une lentille, est renvoyé par l'œil, la vision n'est jamais libre des franges colorées produites par la dispersion excentrique. Avec une sphère on ne s'aperçoit pas de ce défaut, et c'est pourquoi je conçois que s'il était possible de faire une sphère de cristal sur une très-petite échelle, ce serait sans aucun doute le microscope simple le plus parfait, excepté peut-être le double microscope de Wollaston. La sphère a cet avantage,

qu'elle est plus particulièrement convenable pour l'objectif d'un instrument composé, puisqu'elle donne une image parfaitement distincte de l'étendue que l'on désire, et que lorsqu'elle est combinée avec un verre convenable pour y appliquer l'œil, on peut l'employer sans difficulté pour les objets opaques (1). » La difficulté mentionnée par M. Coddington, d'obtenir une sphère sur une très-petite échelle et qui n'est pas insurmontable par les moyens que nous avons donnés précédemment, disparaît d'ailleurs en lui substituant une hémisphère comme dans la figure 157, et contractant l'ouverture ainsi qu'on l'a indiqué.

Le double microscope de Wollaston représenté dans la figure 162, consiste en deux lentilles plano-convexes *m*, *n* dont les surfaces planes sont tournées vers l'objet. Leurs longueurs focales sont dans le rapport de 1 à 3, et leur distance de 1 pouce 4/10 (35 millimètres, 569), à 1 pouce 1/2 (38 millimètres, 0995), la convexité de la dernière se trouvant près de l'œil. Le tube est d'environ 6 pouces (152 millimètres, 398) de longueur, ayant à son extrémité inférieure CD une couverture circulaire de 3/10 de pouce de diamètre (7 millimètres, 6199), à travers de laquelle la lumière rayonnante de R est réfléchie par un miroir plane placé au-dessous. A l'extrémité supérieure du tube est une lentille plano-convexe AB, d'environ 3/4 de pouce (19 mill., 049)

(1) Voyez *Transactions* de Cambridge, 1830.

de foyer, dont la face plane est tournée vers l'observateur, et qui a pour objet de former en *e* une image distincte de la perforation circulaire à environ 1/10 de pouce (2 millimètres, 53997) de AB. Avec cet instrument, le docteur Wollaston voyait les stries et les dentelures les plus belles sur les écailles de *lepisma* et de *podura*, et sur les écailles des ailes de moucheron.

(200.) Dernièrement on a employé de doubles et de triples lentilles achromatiques pour verres de microscopes, et on en a combiné deux ou trois dans le même instrument; mais quoiqu'elles fussent très-bien confectionnées et en quelque sorte plus finies que celles que l'on emploie dans les instrumens bien faits (1), la nécessité de se servir de lumière homogène les rend en quelque sorte inutiles, surtout si l'on veut employer les doubles lentilles de Herschel qui sont représentées dans les figures 43 et 44, et qui sont entièrement libres de toute aberration sphérique. La lentille de la figure 44 a été exécutée avec un foyer de 1/5 de pouce (5 millim., 08) et une ouverture de 1/15 de pouce (1 millimètre, 66) et M. Pritchard à qui elle appartient, nous informe qu'elle éclaircit tous les objets même ceux opaques, avec une grande facilité.

Dans l'application du microscope composé aux objets d'histoire naturelle, j'ai recommandé l'im-

(1) Voyez *Journal des Sciences* d'Edimbourg, N° VIII, nouvelle série, page 244.

mersion de l'objet dans un liquide, afin d'en déployer les parties les plus petites et de leur conserver la position et l'apparence qu'elles ont dans la nature. Il est convenable pour perfectionner cette méthode, d'émerger la surface antérieure de l'objectif dans le même liquide ; et si l'on se sert d'un liquide, d'un pouvoir dispersif plus grand que l'objectif, et qu'on accommode la surface intérieure à la différence de ces pouvoirs dispersifs, l'objectif deviendra ainsi parfaitement achromatique. La supériorité d'un tel instrument pour observer les animalcules et les molécules des corps ayant été notée par M. Brown, il est inutile de nous y arrêter davantage.

MICROSCOPES RÉFLÉCHISSANS.

(201.) Le plus simple de tous les microscopes réfléchissans, est un miroir concave dans lequel la figure de l'observateur est toujours grossie lorsque son foyer est plus éloigné que l'observateur. Quand le miroir est très-concave, un petit objet *mn* (fig. 14) a son image considérablement grossie en MN ; et quand cette image est vue par l'œil, nous avons un simple microscope réfléchissant qui grossit autant de fois que la distance A*n* de l'objet au miroir est contenue dans la distance de AM de l'image.

Mais si au lieu de regarder MN à l'œil nu, on le grossit avec une lentille, on convertit le microscope simple réfléchissant en un microscope réfléchissant composé, formé d'un miroir et d'une len-

elle. Ce microscope fut préparé d'abord par Isaac Newton, et après être resté longtemps d'usage, il a dernièrement été perfectionné et mis en usage par le professeur Amici de Modène. Il fait usage d'un réflecteur concave elliptique, dont la distance focale était de 2 pouces 4/10 (60 millimètres, 958). L'image se formait à l'autre foyer de l'ellipse, et cette image était grossie par un objectif double ou simple à 8 pouces (203 millim., 198) du réflecteur. Comme il n'est pas possible d'éclairer l'objet *mn* quand il est placé comme dans la fig. 14, le professeur Amici l'a placé en dehors du tube au-dessous de la ligne BN, et il l'a introduit dans un speculum AB par la réflexion d'un petit speculum plane, placé entre *mn* et AB et ayant pour diamètre la moitié de AB.

Le docteur Goring, auquel on doit de si grandes améliorations pour toute espèce de microscopes, a beaucoup perfectionné ce dernier instrument. Il se sert d'un petit speculum plane d'un diamètre moindre que le 1/3 du speculum concave, et il emploie les specula suivans de très-courtes distances focales :

DISTANCE FOCALE.		OUVERTURE.	
En pouces anglais.	En millim.	En pouces anglais.	En millim.
1,5	38,0996	0,6	15,2398
1,0	25,3997	0,3	7,6199
0,6	15,2393	0,3	7,6199
0,3	7,6199	0,3	7,6199

,'ingénieux artiste M. Cuthbert, qui a exécuté perfectionnemens, vient de finir récemment sous lirection du docteur Goring, de vrais specula ptiques dont l'ouverture est égale à la longueur le. Le microscope a été exécuté avec des specu- le ce genre, d'un 1/2 pouce (12 mill., 6999) foyer, d'un 1/2 pouce (12 millim., 6999) ıverture, de 3/10 de pouce (7 mill., 61999) foyer, et de 3/10 de pouce (7 millim., 61999) ıverture. Le docteur Goring assure que ce micros- e a découvert une série de lignes longitudinales les écailles de *podura*, en outre des deux séries gonales précédemment observées, et deux séries lignes diagonales sur les écailles du papillon de u, en outre des deux séries à bandes croisées cédemment observées (1).

OBJETS MICROSCOPIQUES.

202.) Le docteur Goring a le mérite d'avoir in- luit l'usage des objets microscopiques ou objets it la texture ou la distinction réclame une cer- ıe supériorité dans le microscope pour être bien . La figure 163 offre quelques-uns de ces objets que les a donnés M. Pritchard. A est l'aile *menelas*, B et C le poil de la chauve-souris, et t E le poil de la souris. Les divers objets micros-

---

) *Journal des Sciences* d'Edimbourg, N° IV, nouvelle , page 321.

copiques qui offrent le plus de difficulté, soit écailles de *podure* et du papillon de chou déjà

RÈGLES POUR LES OBSERVATIONS MICROSCOPIQUES.

(203.) 1. L'œil doit être préservé de toute lumière étrangère et ne recevoir que la lumière qui provient du centre éclairant, à l'exception de la lumière transmise ou reflétée par l'objet.

2. On ne peut pas faire d'observations délicates quand le fluide qui lubréfie la cornée de l'œil est dans un état vicié.

3. La meilleure position pour les observations microscopiques, est celle d'un observateur couché horizontalement sur le dos; elle provient de la parfaite stabilité de la tête et de l'égalité de la membrane lubréfiante du fluide qui couvre la cornée. La plus mauvaise de toutes les positions est celle de l'observateur qui regarde verticalement en bas.

4. Si l'on reste debout et que l'on regarde horizontalement, les traces ou lignes parallèles seront vues plus parfaitement lorsque leur direction sera verticale, direction suivant laquelle le fluide lubrifiant descend sur la cornée.

5. On doit exclure toute partie de l'objet qui n'est pas celle immédiatement soumise à l'observation.

6. La lumière qui éclaire l'objet doit avoir un très-petit diamètre. Pendant le jour ce doit être un simple trou percé au volet d'une chambre ob-

aire, et la nuit une ouverture placée devant une ampe d'argand.

7. Dans tous les cas et surtout quand on emploie ne grande puissance microscopique, le diamètre aturel de la lumière éclairante sera diminué, et on intensité sera augmentée par des moyens ptiques.

8. Dans toute observation microscopique, il faut employer la lumière jaune homogène que procure la lampe monochromatique. La lumière homogène rouge peut s'obtenir par des verres colorés (1).

Microscopes solaires.

(204.) Le microscope solaire n'est rien autre chose qu'une lanterne magique dans laquelle on substitue la lumière du soleil à celle d'une lampe. Le tube AB (fig. 154) est inséré dans le trou d'un volet, et la lumière du soleil est réfléchie par un long morceau de miroir que l'observateur peut faire mouvoir pour introduire constamment la lumière dans le tube, en suivant le cours du soleil.

Les objets vivans ou d'histoire naturelle, sont mis sur le verre à coulisse ou attachés à la pointe d'une aiguille et introduits dans l'ouverture CD, de manière à être éclairés par les rayons du soleil que concentre

(1) Voyez l'article Microscope, dans l'*Encyclopédie* d'Edimbourg, vol. XIV, page 228.

la lentille A. Une image grossie et [illegible] se forme sur l'écran EF.

Ceux qui désirent connaître les formes de micr[illegible] copes de toute espèce, et les différentes manière[illegible] les établir, peuvent consulter l'article microscope [illegible] l'encyclopédie d'Edimbourg, vol. XIV, pages [illegible] 233. Dans le dernier ouvrage sur le microscope, [illegible] docteur Young et de M. Pritchard, *Recherches m[illegible] croscopiques*, *Londres* 1830, le lecteur trouvera [illegible] grand nombre d'observations excellentes et tr[illegible] intéressantes.

CHAPITRE XLII.

TÉLESCOPES RÉFRACTEURS ET RÉFLECTEURS.

Télescopes astronomiques.

(205.) Ce peut être difficilement l'objet d'un doute
e l'invention du télescope date du 13ᵉ siècle,
'elle fut parfaitement connue de Roger Bacon, et
e Léonard et Thomas Digges s'en servirent en
ngleterre, avant le temps de Jansen ou Galilée.
e principe du télescope réfracteur, et le moyen de
lculer son pouvoir grossissant, ont été déjà expli-
és. Nous allons donc décrire les formes différ-
ntes qu'on lui a successivement données.

Le télescope astronomique représenté dans la
igure 164 se compose de deux lentilles convexes AB,
D, dont la première se nomme *l'objectif*, comme
tant près de l'objet MN, et la seconde *l'oculaire*,
omme étant près de l'œil E. L'objectif est une len-
ille d'une longue distance focale, et l'oculaire une
ntille d'une courte distance focale. Une image ren-
ersée *mn*, de chaque objet éloigné MN, est formée
foyer de l'objectif AB, et cette image est grossie
r l'oculaire CD où un foyer antérieur est placé.
n menant des rayons à travers les deux lentilles, il
t évident qu'ils entreront parallèlement dans l'œil
. Si l'objet MN est près de l'observateur, l'image
e se trouvera à une plus grande distance de AB, et
oculaire CD doit être éloigné de AB pour obtenir

une vue distincte de l'image *mn*. De là l'usage adopté de fixer l'objectif AB à l'extrémité d'un tube plus long que sa distance focale, et de placer l'oculaire CD dans un petit tube appelé le tube oculaire qui se rapproche et s'éloigne du plus grand tube afin de s'ajuster aux différentes distances des objets. Le pouvoir grossissant du télescope est égal à la longueur focale de l'objectif divisée par la longueur focale de l'oculaire.

Des télescopes de ce genre furent construits par Campani, Divini et Huygens, et de la longueur excessive de 120 à 136 pieds (36 à 40 mètres); ce fut avec des instrumens de 12 et de 24 pieds (3 mètres, 66 et 7 mètres, 32) de longueur, que Huygens découvrit l'anneau et le quatrième satellite de Saturne. Afin de se servir d'objectifs de si grandes longueurs focales sans l'inconvénient de s'encombrer de tubes, Huygens plaça l'objectif dans un tube très-court à l'extrémité d'une longue armure, de manière que ce tube pût être manœuvré dans toutes les directions sur un pivot arrondi, à l'aide d'un cordon, et amené dans la même ligne qu'un autre tube court contenant l'oculaire qu'il tenait dans la main.

Comme ces télescopes sont sujets à toutes les imperfections qui proviennent de l'aberration de la réfrangibilité et de la sphéricité, ils ne peuvent offrir les objets distincts, lorsque l'ouverture de l'objectif est un peu grande, et sous ce rapport est limité leur pouvoir grossissant. Huygens trouva que les proportions convenables étaient les suivantes :

LONGUEUR FOCALE DE L'OBJECTIF.		OUVERTURE DE L'OBJECTIF.		LONGUEUR FOCALE DE L'OCULAIRE.		POUVOIR grossissant.
pieds anglais.	millimètres.	pouces anglais.	millimètres.	pieds anglais.	millimètres.	
1	304,796	0,545	11,430	0,605	184,4015	20
3	914,388	0, 94	23,8746	1, 04	316,9878	33 1/2
5	1523,380	1, 21	30,7336	1, 33	405,3786	44
10	3047,960	1, 71	43,4335	1, 88	572,9164	62
50	15239,800	3, 84	97,5348	4, 20	1280,1432	140
100	30479,600	5, 40	137,1583	5, 95	1813,5362	197
120	36600,000	5, 90	149,8572	6, 52	1981,2699	216

Dans les télescopes astronomiques, l'objet *mn* est toujours vu renversé.

TÉLESCOPES TERRESTRES.

(206.) Pour approprier le télescope à la vue des objets terrestres et sans être renversés, l'instrument se modifie comme dans la figure 165, à l'aide de deux lentilles EF, GH, qui ont la même longueur focale que CD, et qui sont placées à distances égales au double de leur longueur focale. Si les longueurs focales ne sont pas égales, la distance de chacune des deux lentilles doit être égale à la somme de leurs longueurs focales. Dans ce télescope, la marche des rayons est exactement la même que dans les télescopes astronomiques, jusqu'en L où les deux faisceaux de rayons parallèles CL, DL, se croisent au foyer antérieur L du second oculaire EF. Les rayons qui tombent sur EF forment à leur foyer principal une image droite *m'n'*, qui est vue droite par le troisième oculaire GH, puisque les rayons divergens de *n'* et de *m'*, dans le foyer de GH, entrent dans l'œil en E en faisceaux parallèles. Le pouvoir grossissant de ce télescope est le même que celui du télescope astronomique dans lequel les oculaires sont égaux.

TÉLESCOPE DE GALILÉE.

(207.) Ce télescope, qui est celui dont se servait Galilée, ne diffère du télescope astronomique que par un oculaire concave CD (fig. 166) substitué à

l'oculaire convexe. La lentille concave CD est placée entre l'image *mn* et l'objectif, de manière que l'image se trouve dans le foyer principal de la lentille. Les faisceaux AB*n*, AB*m* tombent sur CD en convergeant à son foyer principal et se réfractant en conséquence suivant des lignes parallèles qui entrent dans l'œil à E et y forment une vision distincte de l'objet. On calcule le pouvoir grossissant de ce télescope de la même manière que celui du télescope astronomique; il a un champ plus petit et moins agréable que ce dernier, mais il a l'avantage de présenter l'image droite et plus distincte.

TÉLESCOPE RÉFLECTEUR GRÉGORIEN.

(208.) Le père Zucchius paraît avoir été le premier qui ait grossi les objets au moyen d'une lentille ou speculum concave; mais il n'est pas démontré qu'il ait construit un télescope réflecteur avec une petite lentille.

James Grégory est le premier qui ait décrit la construction de cet instrument, mais il ne semble pas l'avoir exécuté, et l'honneur de l'avoir fait de ses propres mains appartient à sir Isaac Newton.

La figure 167 représente un télescope grégorien. AB est un speculum métallique concave percé d'un trou dans son milieu. Pour des objets très-éloignés, la courbe du speculum doit être une parabole; pour des objets rapprochés, elle peut être une ellipse dont le foyer le plus éloigné est l'objet, et le foyer le

plus rapproché son image; dans l'un et l'autre cas le speculum sera libre de toute aberration sphérique. Mais comme ces courbes, la parabole et l'ellipse, ne peuvent être données avec certitude à la courbure d'un speculum, les opticiens se contentent d'une figure sphérique correcte. En regard du speculum, est placé un petit speculum concave CD qui peut s'approcher et s'éloigner du grand par une vis de rappel W placée le long du tube. Ce speculum devrait être aussi de forme elliptique, mais il est généralement sphérique. Un oculaire, qui se compose de deux lentilles convexes E, F, placées à une distance égale à la demi-somme de leurs longueurs focales, est vissé dans le tube qui porte le grand speculum AB et maintenu fixe dans cette position. Si les rayons MA, NB, qui ressortent presque parallèles des extrémités M et N de l'objet éloigné, tombent sur le speculum AB, ils y forment son image renversée en *mn*, comme on peut le voir plus distinctement dans la figure 14.

Si cette image *mn* est plus éloignée du petit speculum CD que son foyer principal, son image renversée *m'n'*, ou bien une image droite de l'objet dont *mn* est l'image renversée, se formera entre E et F, les rayons passant à travers l'ouverture du speculum. Cette image *m'n'* peut être vue et grossie par un oculaire convexe à F, mais il est préférable de recevoir les rayons convergens sur une lentille E appelée le verre de champ, qui hâte leur convergence et forme l'image de *mn* dans le foyer de la

lentille F par laquelle elle est grossie, ou ce qui est la même chose, les faisceaux divergens de l'image *m'n'* sont réfractés par F de manière à entrer parallèlement dans l'œil et à y former une image distincte de l'objet. Si cet objet MN est rapproché du speculum AB, l'image *mn* s'éloigne de AB et se rapproche de CD, et conséquemment l'autre image *m'n'*, dans le foyer conjugué de CD, s'éloigne de sa place *m'n'* et cesse d'être vue distinctement. Pour la rétablir à sa place *m'n'*, il suffit de faire manœuvrer la vis de rappel W, de manière à éloigner CD de AB et par conséquent de *mn*, ce qui permet de distinguer l'image *m'n'* aussi parfaitement qu'avant. Le pouvoir gravissant de ce télescope peut se calculer par la règle suivante :

Multipliez la distance focale du grand speculum par la distance du petit miroir de l'image à l'œil, comme formée dans le foyer antérieur de l'oculaire convexe, et multipliez aussi la distance focale du petit speculum par la distance focale de l'oculaire. Le quotient du premier produit divisé par le second donnera le pouvoir grossissant du télescope.

Cette règle suppose l'oculaire d'une seule pièce.

La table suivante, qui donne les longueurs focales, les ouvertures, les pouvoirs grossissans et les prix des télescopes de Schort, montre la grande supériorité des télescopes réflecteurs sur les télescopes réfracteurs.

LONGUEUR FOCALE.		OUVERTURE.		POUVOIRS GROSSISSANS.	PRIX.	
pieds anglais	millimètres	pouces angl	millimètres		guinées angl	francs. cent.
1	304,796	3,0	76,199	35 à 100	14	370,58
2	609,592	4,5	114,298	90 à 300	35	927,15
3	914,388	6,3	160,017	100 à 400	75	1985,25
4	1219,184	7,6	193,037	120 à 500	100	2647,00
7	2133,372	12,2	309,875	200 à 800	300	7938,00
12	3657,552	18,0	457,194	300 à 1200	800	21176,00

TÉLESCOPE CASSEGRAINIEN. 2

(209) Le télescope cassegrainien, proposé par un français, M. Cassegrain, ne diffère du télescope grégorien qu'en ce que son petit speculum CD (fig. 168) est convexe au lieu d'être concave. Le speculum est en conséquence placé devant l'image *mn* de l'objet MN, et une image droite de MN sera formée à *m'n'* entre E et F, exactement comme dans le télescope grégorien, mais avec cet avantage que ce télescope est plus court que le télescope grégorien de plus de deux fois la longueur focale du petit speculum; on lui accorde aussi généralement de donner plus de lumière et de former une image plus distincte à raison de la convexité du speculum qui corrige l'aberration d'un miroir concave.

TÉLESCOPE NEWTONIEN.

(210.) Le télescope newtonien, qui peut être regardé comme un perfectionnement du télescope grégorien, est représenté dans la figure 169. AB est un speculum concave, et *mn* l'image renversée que forment les rayons MN qui proviennent de l'objet. Comme il est impossible d'introduire l'œil dans le tube pour grossir l'image sans obstruer la lumière qui provient de l'objet, un petit speculum plane CD, incliné à 45° par rapport à l'axe du grand speculum et d'une forme ovale dont les axes sont entre eux dans le rapport de 7 à 5, est placé entre le speculum et l'image *mn*, afin de réfléchir de côté à *m'n'* l'i-

mage grossie par un oculaire E qui fait arriver les rayons parallèlement dans l'œil. Le petit miroir est placé sur une branche mince qui, à l'aide d'une coulisse, permet de l'approcher ou de l'éloigner du grand speculum AB, suivant que l'image *mn* s'en approche ou s'en éloigne. Cet ajustage sert encore à éloigner ou bien à rapprocher du petit speculum l'oculaire E. Le pouvoir grossissant de ce télescope est égal à la longueur focale du grand speculum divisé par celle de l'oculaire.

Comme la moitié environ de la lumière est perdue dans les réflexions métalliques, sir Isaac Newton avait proposé de substituer au speculum métallique, un prisme rectangulaire ABC (fig. 148) dans lequel la lumière éprouve une réflexion complète. Il faudrait au reste pour remplir cette indication un verre parfaitement incolore, sans taches et sans veine, et jusqu'à présent on ne s'est pas servi de ce prisme, à raison de la difficulté de l'obtenir d'un verre convenable. Sir Isaac Newton avait également proposé de faire les deux faces du prisme convexe, comme DEF (fig. 148), et en le plaçant entre l'image et l'objet, un pareil prisme non-seulement redressait l'image, mais pouvait faire varier le pouvoir grossissant du télescope. Ce télescope, construit par Newton lui-même, est conservé à la bibliothèque de la société royale.

La table suivante donne les dimensions des télescopes newtoniens supputés d'après un beau télescope fabriqué par Hawksbe comme Étalon :

LONGUEUR FOCALE DU GRAND SPECULUM.		OUVERTURE DU SPÉCULUM.		LONGUEUR FOCALE. DE L'OCULAIRE.		POUVOIR GROSSISSANT.
pieds anglais.	millimètres.	pouces angl	millimètres.	pouces angl.	millimètres.	
1	304,796	2,23	56,64089	0,129	3,27655	93
2	609,592	3,79	94,20739	0,152	3, 8589	158
3	914,388	5,14	130,55696	0,168	4, 2669	214
4	1219,184	6,36	161,54188	0,181	4, 5971	265
6	1828,776	8,64	219,44879	0,200	5, 0799	360
12	3657,552	14,50	368, 2978	0,238	6, 0449	604
24	7315,104	24,41	620,00789	0,283	7, 1879	1017

(211.) Par rapport à la grande perte de lumière dans les réflexions métalliques, perte qui, suivant les expériences soignées de M. Potter, s'élève à 45 rayons sur 100 sous l'incidence de 45° (1), et en considérant les imperfections de la réflexion qui, même avec les surfaces les plus parfaites, sont toujours *cinq* ou *six* fois plus considérables que les mêmes imperfections de la réfraction, j'ai proposé de construire un télescope newtonien suivant la forme représentée dans la figure 170. AB est un speculum concave, *mn* l'image de l'objet MN, et CD un prisme achromatique qui réfracte l'image *mn* dans une position oblique, et de telle sorte que l'œil en E puisse l'apercevoir à travers une lentille grossissante. Le prisme n'a d'autres fonctions que de faire arriver les rayons de côté de manière que l'observateur puisse voir l'image sans obstruer les rayons qui proviennent de l'objet MN. Comme les prismes achromatiques de crown-glass ou de flint-glass peuvent se cimenter par une substance d'un pouvoir réfractif intermédiaire, il n'y a d'autre lumière perdue que celle qui est réfléchie par les deux surfaces.

Au lieu de placer le petit speculum CD du télescope newtonien (fig. 169) à 45° par rapport aux rayons incidens, j'ai proposé de le placer plus obliquement, de manière à réfléchir l'image *m*

(1) *Journal des Sciences* d'Edimbourg, N° VI, nouvelle série, page 283.

(fig. 170) hors de la direction de l'observateur et non plus loin. Cette condition nécessite un speculum plane CD d'une plus grande dimension, mais la plus grande obliquité de la réflexion compense et au-delà ce léger désavantage. On pourrait aussi, ce me semble, se servir d'un petit speculum de verre obscur d'une haute puissance réfractive qui, à de grandes incidences, renéchit autant de lumière que les miroirs métalliques, et que l'on peut polir beaucoup mieux. Les belles surfaces de quelques cristaux, telles que celles du rubis blanc, oxide d'étain ou diamant peuvent être employées.

Un réflecteur newtonien *sans oculaire*, peut être construit en se servant d'un prisme de verre réflecteur avec une ou deux de ses surfaces convexes, quand le prisme est placé entre l'image *mn* et le grand speculum, de manière à réfléchir les rayons parallèles à l'œil. Le pouvoir grossissant sera égal à la longueur focale du grand speculum divisée par le rayon de la surface concave du prisme, si les deux surfaces sont concaves et d'une égale concavité, ou deux fois le rayon si l'une des surfaces seulement est concave.

TÉLESCOPE DE SIR WILLEIM HERSCHEL.

(212.) Les beaux télescopes grégoriens exécutés par Short, étaient si supérieurs à tous les autres, que la forme newtonienne était tombée en désuétude. Elle fut reprise cependant par sir W. Herschel dont les

travaux forment l'époque la plus brillante de la science de l'optique. Avec une ardeur incroyable, il ne construisit pas moins de 200 réflecteurs newtoniens de 6 pieds (1828 mill., 776); 150 de 10 pieds (3047 mill., 96), et 80 de 20 pieds (6095 mill., 92) de longueur focale. Mais son zèle ne s'arrêta pas là. Sous le patronage magnifique de Georges III, il commença en 1785 à construire un télescope de 14 pieds de longueur (4267 mill., 144), et le 27 d'août 1789, jour auquel il fut achevé, il découvrit le sixième satellite de Saturne.

Le grand speculum a 49 pouces 1/2 (1257 mill.) de diamètre, mais la surface concave n'a que 48 pouces (1219 mill.); l'épaisseur est d'environ 3 pouces 1/2 (88 mill., 898) et son poids, quand il fut fondu, de 2118 l. (960 kilog.). Sa longueur focale est de 40 pieds 12191 mill., 84); la longueur du tube en tôle de fer qui le contient est de 39 pieds 6 pouces (12039 mill., 442), et son diamètre de 4 pieds 10 pouces (1473 mill., 18). En se servant de petites lentilles convexes, le docteur Herschel vint à bout de lui donner un pouvoir grossissant de 6450 pour les étoiles fixes, mais en général le pouvoir grossissant était bien moindre.

Dans ce télescope, l'observateur voyait à l'ouverture du tube, et, le dos tourné vers l'objet, regardait par ce qu'on appelait la *vue de front* sans se servir d'un speculum plane, l'oculaire étant appliqué directement à grossir l'image formée par le grand speculum. Afin d'empêcher la tête ou le corps de l'ob-

servateur d'obstruer une trop grande quantité de la lumière incidente, l'image est formée en dehors de l'axe du speculum et doit être en conséquence faiblement détournée.

Comme cet instrument restait exposé aux injures de l'air, il avait beaucoup souffert, et on le remplaça par un autre télescope de 20 pieds (6095 mill., 92) de foyer, avec un speculum de 18 pouces (457 mill., 194) de diamètre, qui fut mis en place en 1822 par J. F. W. Herschel, Ecuyer, et avec lequel on a fait beaucoup d'observations importantes.

TÉLESCOPE DE M. RAMAGE.

(213.) M. Ramage d'Aberdeen a construit divers télescopes newtoniens d'une grande longueur et d'un grand pouvoir grossissant. C'est lui qui a construit le plus grand télescope actuellement en usage en Angleterre et je crois en Europe; il l'a élevé en 1820 à l'observatoire de Greenwich. Le grand speculum a une longueur focale de 25 pieds (7619 mill., 90) et 15 pouces (370 mill., 995) de diamètre. L'image est formée en dehors de l'axe du speculum qui est incliné de manière à la reporter sur le côté du tube où l'observateur peut la voir sans obstruer les rayons incidens. Le tube est un prisme à 12 pans, et quand on ne se sert pas de l'instrument il est serré dans une boîte et recouvert d'une toile. L'appareil pour mouvoir et diriger ce télescope est extrêmement simple et montre l'habileté du mécanicien.

CHAPITRE XLIII.

Télescopes achromatiques.

(214.) Le principe du télescope achromatique a été brièvement expliqué dans le chapitre VII, et nous avons fait voir alors comment une lentille convexe, combinée avec une lentille concave d'un plus long foyer, et ayant un pouvoir réfractif et dispersif plus considérable, peut produire une réfraction incolore et former conséquemment une image libre des couleurs premières du prisme; il a été démontré mathématiquement, et le lecteur peut se convaincre de cette vérité en traçant les rayons à travers les lentilles, que deux lentilles, l'une concave et l'autre convexe, forment une combinaison achromatique ou une image sans couleur, lorsque deux longueurs focales sont dans la même proportion que leurs pouvoirs dispersifs; c'est-à-dire que si le pouvoir dispersif du crown-glass est au pouvoir dispersif du flint-glass, comme 0, 60 est à 1, l'oculaire achromatique sera formé alors par la combinaison d'une lentille de crown-glass de 6, 60, ou 600 pouces avec une lentille de flint-glass de 10 ou 100 ou 1000 pouces de longueur focale.

Mais quoiqu'une semblable combinaison produise une image incolore, elle ne serait pas libre d'aberration sphérique, qui ne peut être dissipée qu'en donnant les courbures convenables à la pre-

mière et à la seconde surface, c'est-à-dire aux deux surfaces extérieures de l'oculaire composé. M. Herschel a trouvé qu'un double oculaire était presque libre d'aberration lorsque le rayon de la surface extérieure de la lentille de crown-glass est 6, 72, et celui du flint-glass de 14, 2; la longueur focale de l'oculaire combiné étant 10,000 et les rayons des surfaces inférieures étant calculés suivant la formule élémentaire des ouvrages d'optique, de manière à ce que les deux longueurs focales des lentilles fussent en raison directe de leurs pouvoirs dispersifs.

Cette combinaison est représentée dans la figure 171; AB est la lentille convexe de crown-glass placée en dehors vers l'objet, et CD est la lentille concavo-convexe de flint-glass placée vers l'œil. Les deux faces intérieures ont une courbure si rapprochée qu'on peut les ajuster et les cimenter pour empêcher toute déperdition de lumière.

Dans les objectifs doubles achromatiques, construits avant la publication des recherches de M. Herschel, la surface de la lentille concave la plus rapprochée de l'œil était, à ce que nous croyons, toujours concave.

Les objectifs triples achromatiques se composent de trois lentilles AB, CD, EF (fig. 172). AB, EF sont deux lentilles concaves de crown-glass, et CD une lentille double concave de flint-glass.

C'était pour obtenir une connexion plus grande de l'aberration sphérique que l'on se servait de trois lentilles; mais la complication de leur cons-

truction, le risque plus considérable d'une excentricité qui fit dévier les trois centres de la ligne directe, et les pertes de lumière à raison des six surfaces, ont été regardées comme des inconvéniens plus grands que l'avantage qu'on se proposait de ces lentilles triples achromatiques qui ont été conséquemment abandonnées

Voici les rayons de deux objectifs triples achromatiques construits par M. Dollond.

AB, 1re *lentille de crown-glass.*

	1er OBJECTIF.		2e OBJECTIF.	
	p.	m.	p.	m.
Rayons de la 1re surface,	28	(711,18)	28	(711,08)
Rayons de la 2e surface,	40	(1015,39)	35,5	(901,67)

GD, *ou lentille de flint-glass.*

	p.	m.	p.	m.
Rayons de la 1re surf.,	20,9	(530,84)	21,1	(535,91)
Rayons de la 2e surf.,	28,	(711,18)	25,75	(654,01)

EF, *ou* 2e *lentille de crown-glass.*

	p.	m.	p.	m.
Rayons de la 1re surf.,	28,4	(721,23)	28	(711,18)
Rayons de la 2e surf.,	28,4	(721,23)	28	(711,18)
Longueur focale de la lentille composée,	46	(1168,38)	46,3	(1174,99)

A raison de la grande difficulté d'obtenir du flingt-glass exempt de veines et de défauts, les plus grands objectifs achromatiques construits en

Angleterre, n'excèdent pas ordinairement 4 à 5 pouces (102 à 127 millim.) de diamètre. Le discrédit dans lequel est tombé cette branche importante de l'industrie anglaise ne peut être imputé qu'à l'ignorance et au peu de soin du gouvernement, qui sont cause que les étrangers nous rivalisent maintenant pour la fabrication des télescopes achromatiques. M. Guinand de Brenetz dans le Switzerland, et M. Fraunhofer de Munich se sont successivement appliqués à la confection des grandes lentilles de flint-glass, et l'un et l'autre ont réussi. M. Fraunhofer avant son décès, a exécuté deux télescopes avec objectifs achromatiques de 9 1/2 pouces (241 mill., 296) et de 12 pouces (304 mill., 796) de diamètre, et il m'avait informé qu'il voulait en entreprendre un de 18 pouces (557 mill., 194). Le premier de ces objectifs était destiné au magnifique télescope achromatique ordonné par l'empereur de Russie pour l'observatoire à Dorpat. L'objectif était double, et sa longueur focale de 25 pieds (7619 mill., 900); il était monté sur un pied métallique pesant 5000 livres de Russie (2140 kil.) Le télescope pouvait se mouvoir dans toute direction voulue par la plus légère force, toutes les parties mobiles etant munies de contre-poids. Il avait quatre objectifs dont le moindre grossissait 175 fois, et le plus considérable grossissait 700 fois. Son prix était de 1300 livres sterling (32500 francs), et il fut généreusement donné au prix coutant, 950 livres (23750 fr.). L'objectif de 12

pouces (304 mill., 796) qui avait été fait pour le roi de Bavière, au prix de 2720 liv. sterl. (268000 fr.) n'était pas encore complétement achevé lors du décès de Fraunhofer; nous ne savons pas s'il est maintenant en usage. Entre les mains de l'habile observateur, le professeur Struve, le télescope de Dorpat a déjà servi à plusieurs découvertes importantes en astronomie.

Un opticien français, nous croyons que c'est M. Lerebours, a exécuté plus récemment deux objectifs achromatiques de Guinand, dont l'un est d'environ 12 pouces (304 mill., 796), et l'autre d'environ 13 pouces (330 mill., 195) de diamètre. Le premier de ces objectifs a été monté sur un télescope de l'Observatoire à Paris, et le gouvernement français a fait la dépense d'un pied qui a coûté 500 liv. sterl. (12500 fr.), pour cet objectif qu'il n'a pas eu la générosité d'acheter. Sir James South, notre libéral et généreux compatriote, a su apprécier la valeur de ces deux objectifs, et les a achetés pour l'Observatoire de Kensington.

OCULAIRES ACHROMATIQUES.

(215.) Les oculaires achromatiques quand on n'a besoin que d'une lentille unique, peuvent se composer comme les objectifs achromatiques; mais on ne se sert jamais d'oculaires de ce genre, parce qu'il est plus simple de corriger la colorisation par un simple arrangement de lentilles d'un même

verre. La figure 173 offre un exemple de cet arrangement : AB et CD sont deux lentilles plano-convexes, dont l'une AB est la plus voisine de l'objectif et l'autre CD est la plus voisine de l'oculaire; un rayon de lumière blanche RA provenant de l'objectif achromatique, sera réfracté en A par AB, de manière que le rayon rouge A*r* rencontre l'axe en *r*, et le rayon violet A*v* rencontre ce même axe en *v*. Mais ces rayons étant interceptés par la seconde lentille CD aux points *m*, *n* à différentes distances de l'axe, subiront différens degrés de réfraction. Le rayon rouge *mr* souffrira une plus forte réfraction que le rayon violet *nv*, nonobstant sa réfrangibilité moindre, de manière que les deux rayons émergent parallèlement et conséquemment incolores de la lentille CD en *mr*' et *nv*'.

Quand les deux lentilles sont de crown-glass, on peut les placer à distance égale de la demi-somme de de leurs longueurs focales, ou ce qui est mieux, leur distance doit être égale à la moitié de la somme de la distance focale de l'oculaire CD et de la distance à laquelle le champ AB formerait une image de l'objectif du télescope. Cet oculaire s'appelle un *oculaire négatif*; l'arrêt ou diaphragme doit être placé à mi-chemin entre les deux lentilles. La longueur focale d'une lentille équivalente ou qui aurait le même pouvoir grossissant que cet oculaire, est égale au double produit des longueurs focales des deux lentilles divisé par leur somme.

Un oculaire presqu'achromatique appelé *oculaire de Ramsden*, et dont on se sert dans les instrumens de voyage, télescopes avec micrometres, est représenté dans la figure 174. AB, CD sont deux lentilles plano-convexes dont les convexités se font face. Elles ont la même longueur focale et sont placées à la distance l'une de l'autre, des deux tiers de la longueur focale de l'une d'elles. La longueur focale d'une lentille équivalente est égale aux trois quarts de la longueur focale de l'une de ces lentilles. Le but de cet oculaire, est de donner un vaste champ ou une vue distincte d'un système de fils placés en MN. Cet oculaire n'est pas tout à fait achromatique, et on pourrait le rendre plus achromatique en accroissant la distance des lentilles; mais comme il faudrait rapprocher les fils MN plus près de AB, chaque molécule de poussière ou chaque défaut de la lentille AB serait grossie par la lentille CD.

Les oculaires achromatiques sont maintenant d'un usage général dans tous les télescopes achromatiques destinés à la vue des paysages, et sont représentés dans la figure 175. Ils se composent de quatre lentilles A, C, D, B, placées comme dans cette figure. M. Coddington a prouvé que si leurs longueurs focales, calculées depuis A, sont comme les nombres 3, 4, 4, 3, et que les distances entre elles soient à la même échelle comme les nombres 4, 6, 5, 2, les rayons calculés depuis la surface extérieure de A, seront ainsi qu'il suit :

A { 1re surface 27 ; 2e surface 1 } presque plano-convexe.

C { 1re surface 9 ; 2e surface 4 } ménisque.

D { 1re surface 1 ; 2e surface 21 } presque plano-convexe.

B { 1re surface 1 ; 2e surface 24 } double convexe.

Le pouvoir grossissant de cet oculaire comme on le fait ordinairement, diffère peu de celui qui appartenait à la première ou à la quatrième lentille seule. J'ai prouvé que le pouvoir grossissant de cet oculaire peut être augmenté ou diminué en faisant varier la distance entre C et D, qui toujours dans les oculaires communs de cette espèce, où A et C sont placées dans un même tube AC, D et B dans un autre tube DB, peut être conçu de manière que la lumière puisse se tenir en dehors du tube général. La figure 175 représente un oculaire construit de cette manière, et dont les deux parties séparées peuvent se mouvoir par une vis de rappel E. J'ai communiqué à M. Carey en 1805, ces moyens d'obtenir un pouvoir grossissant variable, et de placer un système de fils d'archal devant l'oculaire, et je possède un de ces instrumens exécutés par M. Adie en 1806. Je l'ai décrit avec détails dans mon traité *des Instrumens d'Optique*, et il a été cité dernièrement comme un instrument nouveau sous le nom de *tube oculaire pancratique*, par le docteur Kitchener.

TÉLESCOPE A PRISME.

(216.) En 1812 j'avais prouvé qu'une réfraction incolore pouvait être produite par la combinaison de deux prismes de la même couleur, et les expériences relatives à ce résultat ont été publiées en 1813 dans mon traité *des nouveaux Instrumens d'Optique*. En pratique, ce principe peut s'appliquer à la construction d'un télescope achromatique avec des lentilles de même verre, et à celle d'un *téléoscope*, instrument à l'aide duquel on peut aggrandir et faire varier les proportions linéaires des objets.

Si l'on prend un prisme et qu'on tienne son bord réfractif en bas et horizontalement, de manière à voir à travers un carreau de vitre de la fenêtre, on trouvera une position dans laquelle les rayons comme dans la figure 20, entreront dans le prisme, en émergeant à angles égaux et de manière à ce que l'on voie le carreau de vitre de grandeur naturelle. Si l'on tourne le bord réfractif vers la fenêtre, le carreau se trouvera aggrandi ou étendu dans sa hauteur ou direction verticale, tandis que sa largeur restera la même. Si maintenant on prend le même prisme et qu'on tienne verticalement son bord réfractif, on trouvera par le même procédé que la largeur du carreau peut être augmentée ou étendue. Si donc on combine les deux prismes dans cette position et de manière à grossir à la fois la hauteur et la largeur, on obtiendra un télescope composé de deux

prismes, mais malheureusement les objets y seront frangés des couleurs prismatiques. Il y a trois moyens de corriger cette colorisation : 1°. On peut choisir les prismes d'un verre tel qu'il absorbe tous les rayons à l'exception de ceux d'une couleur homogène; on peut encore se servir d'un morceau de ce verre pour absorber les autres rayons en se servant des deux prismes ordinaires. 2°. On peut employer des prismes achromatiques au lieu des prismes ordinaires. 3°. Ce qui vaut le mieux pour l'usage ordinaire, c'est de placer deux autres prismes exactement semblables, mais en position inverse ou placés ainsi qu'on le voit dans la figure 176, qui représente un télescope prisme.

AB et AC sont deux prismes du même verre et de mêmes angles réfractifs avec leurs plans de réfraction verticale; ED et EF sont deux autres prismes semblablement placés avec leurs plans de réfraction horizontale. Un rayon de lumière M*a* qui de l'objet M entre dans le premier prisme EF en *a*, émerge du second prisme ED en *b*, entre dans le troisième prisme AC en c, émerge du quatrième prisme AB en *d* et entre dans l'œil en O. L'objet M est étendu ou grossi horizontalement pour chacun des deux prismes EF, ED, et verticalement pour chacun des autres prismes AB, AC; en regardant à travers les prismes, les objets sont diminués ou réduits.

Cet instrument que l'auteur de ce traité a fait construire en Angleterre, sous le nom de *teinoscope*, l'avait été également par le docteur Blair avant que

M. Amici de Modène ne l'eût proposé. Le modèle du docteur Blair, que j'ai maintenant sous les yeux, est composé de quatre prismes de plaque de verre d'angles réfractifs de 150° environ. Il me fut présenté par son fils, il y a deux ans, mais comme M. Blair n'avait publié aucun rapport à cet égard, il ne pouvait fixer la date de sa construction.

Dans la construction de cet instrument, la parfaite égalité des prismes n'est pas une condition nécessaire; il suffit que AB et DE soient égaux entre eux, ainsi que AC et EF, parce que la couleur d'un prisme peut être corrigé par celle d'un autre, à l'aide d'un simple changement de position. Par la même raison, il n'est pas nécessaire que tous les prismes soient de même verre.

LORGNETTES D'OPÉRA A UNE SEULE LENTILLE.

(217.) Il y a long-temps que M. d'Alembert a fait voir que l'on peut construire un télescope achromatique avec un seul objectif et un seul oculaire de pouvoirs réfractif et dispersif différens. Pour l'exécuter, l'oculaire doit être concave et fait d'un verre d'un pouvoir dispersif plus considérable que celui de l'objectif; mais à l'époque où cette proposition était faite, ce n'était guère qu'une utopie, parce qu'on ne connaissait pas alors de substances assez différentes de pouvoir dispersif, et à présent même, l'exécution n'en est praticable que pour les lunettes d'opéra.

Si l'on se sert d'un objectif d'un pouvoir dispersif très-faible, la réfraction des rayons violets peut être corrigée par un oculaire d'un pouvoir dispersif très-considérable, comme on peut le voir dans la table suivante :

Objectif de	Oculaire de	Pouvoir grossissant.
Crown-glass. .	Flint-glass. . .	1 1/4
Eau. . . , .	Huile de cassia.	2
Cristal de roche.	Flint-glass. . .	2
Cristal de roche.	Huile d'anis. .	3
Crown-glass. .	Huile de cassia.	3
Cristal de roche.	Huile de cassia.	6

Quoique tous les rayons soient dispersés pour entrer parallèles dans l'œil, à raison de ces combinaisons, cependant la colorisation n'est pas corrigée complètement.

TÉLESCOPE ACHROMATIQUE DE M. BARLOW.

(218.) En 1813, j'avais découvert le pouvoir dispersif remarquable du sulfure de carbone, ayant trouvé « que son pouvoir réfractif excède celui de tous les fluides, et même celui du flint-glass, de la topaze et de la tourmaline; et que son pouvoir dispersif excède celui de tous les fluides, à l'exception

de l'huile de cassia, prenant place immédiatement entre le phosphore et le baume de Tolu. Quoique le pouvoir dispersif de l'huile de cassia surpasse celui du sulfure de carbone, cependant la teinte jaunâtre de l'huile la rend très-inférieure, optiquement parlant, excepté dans les cas où l'on a besoin d'une lentille concave très-mince. L'extrême volatilité du sulfure de carbone est sans contredit un désavantage, mais comme cette volatilité peut être diminuée, nous n'hésitons pas *à considérer le sulfure de carbone comme un fluide d'une très-grande ressource pour des recherches d'optique, et dont on peut tirer les plus grands services pour la construction des instrumens d'optique* (1). » Cette espérance a été réalisée par M. Barlow, qui a employé le sulfure de carbone au lieu du flint-glass pour corriger la dispersion d'une lentille convexe. On a proposé et essayé de placer une lentille concave entre une lentille convexe et son foyer, dans le dessein de corriger la dispersion de la lentille convexe, avec une lentille d'un moindre diamètre, mais M. Barlow a le mérite de l'exécution première.

Le télescope qu'il a exécuté d'après ce principe, se compose d'un seul objectif de verre plat de 7 pouces, 8 (198 mill., 117) d'ouverture nette, et d'une longueur focale de 78 pouces (1981 mil., 17):

---

(1) Propriétés optiques du sulfure de carbone. *Transactions* d'Edimbourg, vol. VIII, page 285, 7 février 1814.

à la distance de 40 pouces (1015 millim., 99) de cette lentille est placée une lentille concave de sulfure de carbonne, ayant de longueur focale 59 p., 8 (1528 millim., 81), de manière que les rayons parallèles tombant sur la lentille plate convexe, et convergeant à son foyer, soient réfractés par la lentille concave liquide, en ayant leur foyer à la distance de 104 pouces (2641 millimètres, 55) de la lentille concave liquide, et à 144 pouces ou 12 pieds (3657 millim., 332) de la lentille plate de verre. Le liquide est contenu entre deux joues de meniscus et un anneau de verre, de manière que le rayon de la lentille concave liquide soit de 144 pouces (3657 millim., 332) vers l'œil, et de 5 6pouces 4 (1280 mill., 14) vers l'objectif. Le fluide est mis à une haute température, et la contraction qu'éprouve toute espèce de chose par le refroidissement, parfaitement maintenue. On n'a pas encore observé la moindre décomposition du liquide. Le grand spectre secondaire que j'ai trouvé exister dans le sulfure de carbone est approximativement corrigé par la distance de la lentille liquide à l'objectif; mais nous sommes convaincus qu'elle n'est pas exempte de couleur secondaire. M. Coddington remarque que la marche générale d'un faisceau oblique est portée en dehors par la lentille liquide, et les rayons violets plus que les rayons rouges, de manière à empêcher de distinguer; mais nous ne sommes pas convaincus que ce défaut ait été remarqué dans l'instrument. Le tube du télescope est de 11 pieds (3352 m., 76),

et les oculaires d'un pied (204 millimèt., 796). « Ce telescope, dit M. Barlow, a un pouvoir de 700 sur les étoiles doubles les plus obscures du catalogue de South et d'Herchel, quoique le champ ne soit pas aussi brillant qu'on pourrait le désirer. Vénus est d'une belle blancheur et bien distincte, avec un pouvoir de 120, mais manifeste quelque couleur avec un pouvoir de 360. Saturne, avec un pouvoir de 120, est très-brillant, le double anneau et la ceinture bien distincts, et avec un pouvoir de 360, il est encore plus beau. » M. Barlow remarque aussi que ce télescope n'est pas aussi bon pour éclairer les étoiles obscures, qu'il est puissant pour faire briller les plus petits points lumineux.

TÉLESCOPES SOLAIRES ACHROMATIQUES A LENTILLES SIMPLES.

(219.) Pour regarder le soleil ou tout autre objet fortement lumineux, on peut construire un télescope avec un seul objectif d'une plaque de verre, et en faisant l'un des oculaires d'un verre qui ne transmette que la lumière homogène; même effet peut avoir lieu avec un morceau de verre de la même couleur; mais c'est une nouvelle source d'erreur à cause des deux surfaces de ce verre. Pour une construction de ce genre, ce qu'il y aurait de préférable serait d'absorber tous les rayons, excepté le rouge, et il existe plusieurs substances à l'aide desquelles cela peut se faire. L'objectif de ce télescope,

quoique le rendant alors manochromatique, serait encore sujet à l'aberration sphérique. Mais si les rayons des lentilles sont convenablement choisis, l'excès de la lumière solaire permettra de diminuer assez l'ouverture pour rendre en quelque sorte imperceptible l'aberration sphérique. Ce télescope, s'il est d'une grande longueur, serait, nous en sommes convaincus, égal à tout instrument que l'on ait dirigé sur le soleil.

Si l'on obtient un solide ou un liquide qui absorbe tous les rayons du spectre, à l'exception du jaune, avec le peu de perte qu'il y a dans les verres rouges, ce télescope répondra à tous les objets à considérer dans le jour et à tous ceux de l'astronomie. Si l'art de donner aux lentilles une forme hyperbolique peut être amené à sa perfection, ce dont nous ne doutons pas, l'aberration sphérique disparaîtrait, et le télescope construit sur les données précédentes serait le plus parfait de tous les instrumens.

En ne se servant même que de la lumière rouge, on peut apporter un grand perfectionnement aux télescopes destinés aux observations de jour et aux observations astronomiques. Si, par exemple, les rayons rouges forment 1/10 de la lumière blanche, il suffit d'augmenter dix fois l'aire de l'ouverture pour réparer complètement ce défaut de lumière. L'aberration sphérique s'en accroîtrait grandement sans doute, mais si l'on considère que comparée à l'aberration de couleur, elle est seulement dans le

rapport de 1 à 1200, on peut ne pas craindre de l'augmenter pour se procurer un si grand avantage. Les télescopes ordinaires peuvent être réellement perfectionnés par l'emploi des verres colorés, qui absorberaient seulement les rayons extrêmes du spectre, quoiqu'ils ne produisissent pas cependant une image homogène ou achromatique.

Ces observations sont faites surtout dans l'intérêt de ceux qui ne peuvent faire la dépense d'instrumens coûteux, et qui veulent se livrer aux observations astronomiques avec les instrumens ordinaires qu'ils ont en leur possession.

PERFECTIONNEMENT DES TÉLESCOPES QUI NE SONT PAS COMPLÈTEMENT ACHROMATIQUES.

(220.) Il y a plusieurs télescopes achromatiques d'un volume considérable, dans lesquels le flint-glass de la lentille corrige trop ou trop peu les couleurs de la lentille de crown-glass. Ce défaut peut disparaître en changeant très-peu la courbure de l'une ou de l'autre lentille. Mais tous les telescopes achromatiques dont les lentilles sont faites de crown et de flint-glass, développent des couleurs secondaires, c'est-à-dire, la *couleur vineuse* et les *franges verdâtres*. Ces couleurs ne sont pas très-apparentes à la vérité, et dans la plupart des cas, sinon dans tous, on peut les détruire par l'absorption à travers des verres qui n'affaiblissent pas beaucoup l'intensité de la lumière. Les verres convenables à ce dessein

ne peuvent se trouver que par expérience, car les teintes secondaires, quoiqu'en général du ton vineux que nous venons de mentionner, varient suivant la nature des flint et des crown-glass dont les lentilles sont composées.

APPENDICE.

TABLE PREMIÈRE.

(*Se rapporte à la page* 30, 1er vol.)

TABLE DES POUVOIRS RÉFRACTIFS

DES CORPS SOLIDES ET LIQUIDES.

	Mesure de réfraction.
dgar artificiel.	2,549
aèdrite (mine de titane pyramidal). .	2,500
mant.	2,439
rite de plomb.	2,3[illegible]
nde.	2,2[illegible]
aphore.	2,224
fre fondu.	2,148
ɔne.	1,96[illegible]
re { plomb 2 / flint-glass 1 }	1,836
mat.	1,815
ɔia.	1,779
re { plomb 3 / flint-glass 1 }	2,088
hir.	1,794
ɔelle.	1,764

APPENDICE.

TABLE PREMIÈRE.

(*Se rapporte à la page* 30, 1er vol.)

TABLE DES POUVOIRS RÉFRACTIFS

DES CORPS SOLIDES ET LIQUIDES.

	Mesure de réfraction.
Réalgar artificiel.	2,548
Octaèdrite (mine de titane pyramidal). .	2,500
Diamant.	2,439
Nitrite de plomb.	2,392
Blende.	2,260
Phosphore.	2,224
Soufre fondu.	2,148
Zircone.	1,961
Verre { plomb 2 / flint-glass 1 }	1,830
Grenat.	1,815
Rubis.	1,779
Verre { plomb 3 / flint-glass 1 }	1,088
Saphir.	1,794
Spinelle.	1,764

	Mesure de réfraction.
Pierre de cinnamon.	1,759
Sulfate de carbone.	1,768
Huile de cassia.	1,641
Baume de Tolu.	1,628
Gaiac.	1,619
Huile d'anis.	1,601
Quartz.	1,548
Sel de roche.	1,557
Sucre fondu.	1,554
Baume de Canada.	1,549
Ambre.	1,547
Verre plat de 1,514 à.	1,542
Crown-glass de 1,525 à.	1,534
Huile de girofle.	1,535
Baume de capivi.	1,528
Gomme arabique.	1,502
Huile de faine.	1,500
Huile de castor.	1,490
Huile de cajeput.	1,483
Huile de térébenthine.	1,475
Huile d'olives.	1,470
Alun.	1,457
Spath fluor.	1,434
Acide sulfurique.	1,434
Acide nitrique.	1,410
Acide hydrochlorique.	1,410
Alcool.	1,372
Cryolite.	1,349
Eau.	1,336

	Mesure de réfraction.
Glace.	1,309
Minéraux liquides de 1,294 à. . . .	1,131
Tabir.	1,111
Ether avec expansion de trois fois son volume.	1,057
Air.	1,000294
Vapeur de sulfure de carbone. . . .	1,001530
Phosgène.	100159
Cyanogène.	1,000834
Chlore.	1,000772
Gaz oléfiant.	1,000678
Acide sulfureux.	1,000665
Hydrogène sulfuré.	1,000644
Oxide nitreux.	1,000503
Acide hydrocyanique.	1,000453
Acide hydrochlorique.	1,000449
Acide carbonique.	1,000449
Hydrogène carburé.	1,000443
Ammoniac.	1,000385
Oxide de carbone.	1,000340
Gaz nitreux.	1,000303
Azote.	1,000300
Air atmosphérique.	1,000294
Oxigène.	1,000272
Hydrogène.	1,000138
Le vide.	100000

N° I.

(*Se rapporte à la page* 95 , I^er^ *vol.*)

Afin de donner au lecteur quelqu'idée de la variété des pouvoirs dispersifs qui existent dans les corps solides et liquides, j'ai placé ici la table suivante, extraite d-un travail plus considérable, fait en 1811 et 1812 (1).

La seconde colonne contient la différence des mesures de réfraction pour les rayons extrêmes rouges et violets en cette partie de la réfraction totale pour laquelle la dispersion est égale; la première colonne contient les pouvoirs dispersifs.

TABLE DES POUVOIRS DISPERSIFS DES CORPS.

	Pouvoir dispersif.	Différence entre les mesures de réfraction des rayons extrêmes.
Huile de cassia.	0,139	0,889
Soufre après fusion.	0,130	0,149
Phosphore.	0,128	0,156

(1) Voyez mon *Traité des Instrumens de physique*, page 315.

	Pouvoir.	Différence.
Sulfure de carbone.	0.115	0,077
Baume de tolu.	0,103	0,065
Baume du Pérou.	0,093	0,058
Aloès des Barbades	0,085	0,058
Huile d'amandes amères. . .	0,079	0;048
Huile d'anis.	0,077	0,044
Acétate de plomb fondu. . .	0,069	0,040
Baume de styrax.	0,067	0,039
Gaïac.	0,066	0,041
Huile de cumin.	0,065	0,033
Huile de tabac.	0,064	0,035
Gomme ammoniaque. . . .	0,063	0,037
Huile de goudron des Barbades.	0,062	0,032
Huile de girofle.	0,062	0,033
Huile de sassafras.	0,060	0,032
Résine.	0,057	0,032
Huile douce de fenouil. . . .	0,055	0,028
Huile de spearmint.	0,054	0,026
Sel de roche.	0,053	0,029
Caoutchouc.	0,052	0,028
Huile de piment.	0,052	0,020
Flint-glass.	0,052	0,026
Huile d'angélique.	0,051	0,025
Huile de thym.	0,050	0,024
Huile de cawoi.	0,049	0,024
Flint-glass	0,048	0,029
Gomme thus.	0,048	0,028
Huile de genièvre.	0,047	0,028
Acide nitrique.	0,045	0,019

	Pouvoir.	Différence.
Baume du Canada.	0,045	0,021
Huile de cajeput.	0,044	0,022
Huile de rhodium.	0,044	0,022
Huile de pavot blanc. . . .	0,044	0,220
Zircone, la plus grande réfract.	0,044	0,045
Acide hydrochlorique. . . .	0,043	0,016
Gomme copale.	0,043	0,024
Huile de noix.	0,043	0,022
Huile de térébenthine. . . .	0,042	0,020
Feld spath.	0,042	0,021
Baume de capivi.	0,041	0,021
Ambre.	0,041	0,023
Spath calcaire, la plus grande réf.	0,040	0,027
Huile de navette.	0,040	0,019
Diamant.	0,038	0,056
Huile d'olive.	0,038	0,018
Gomme mastic.	0,038	0,022
Huile de rose.	0,037	0,016
Beril.	0,037	0,022
Ether.	0,037	0,022
Sélénite.	0,037	0,020
Alun.	0,036	0,017
Huile de castor.	0,036	0,018
Crown-glass vert.	0,036	0,020
Gomme arabique.	0,036	0,018
Eau.	0,035	0,012
Acide citrique.	0,035	0,019
Verre de borax.	0,034	0,018
Grenat.	0,034	0,018

	Pouvoir.	Différence.
Chrysolite.	0,033	0,022
Crown-glass.	0,033	0,018
Huile de vin.	0,032	0,012
Verre de phosphore. . . .	0,031	0,017
Verre en plaque.	0,032	0,017
Acide sulfurique.	0,031	0,014
Acide tartrique.	0,030	0,016
Nitre, la moindre réfraction. .	0,030	0,09
Borax.	0,030	0,014
Alcool.	0,029	0,011
Sulfate de barite.	0,029	0,011
Cristal de roche.	0,026	0,014
Verre de borax. . bor. 2 silex.	0,026	0,014
Saphir bleu.	0,026	0.021
Topaze bleuâtre.	0,025	0,016
Chrysoberil.	0,025	0,019
Topaze bleue.	0,024	0,016
Sulfate de strontiane. . . .	0,024	0,015
Acide prussique.	0,027	0,008
Spath fluor.	0,022	0,010
Cryolite.	0,022	0,007

N° II.

(Se rapporte à la page 98, I*er vol.*)

Cette table contient les résultats de plusieurs expériences décrites dans les pages 97 et 98. Les corps mis en tête de la table sont ceux qui ont le moins d'action sur la lumière verte, et ceux qui sont à la fin sont les corps qui ont le plus d'action sur la lumière verte. La position relative de quelques-unes des substances est empirique, mais on s'en rapportera aux expériences de *mon traité sur les nouveaux instrumens de physique*, page 354; on verra comment l'action relative des corps sur la lumière verte est ou n'est pas déterminée.

TABLE DES CORPS TRANSPARENS,

DANS L'ORDRE SUIVANT LEQUEL ILS EXERCENT LE MOINS D'ACTION SUR LA LUMIÈRE VERTE.

Huile de cassia.
Soufre.
Sulfate de carbone.
Baume de tolu.
Huile d'amandes amères.
Huile d'anis.
Huile de cumin.

Huile de sassafras.
Huile douce de fenouil.
Huile de girofle.
Baume de Canada.
Huile de térébenthine.
Huile de pavots blancs.
Huile de spéarmint.
Huile de carvi.
Huile de muscade.
Huile de menthe.
Huile de castor.
Gomme copale.
Diamant.
Nitrate de potasse.
Huile de noix.
Baume de capivi.
Huile de rhodium.
FLINT-GLASS.
Zircone.
Huile d'olives.
Spath calcaire.
Sel de roche.
Gomme de genièvre.
Huile d'amandes.
CROWN-GLASS.
Gomme arabique.
Alcool.
Ether.
Verre de borax.
Sélénite.

Béril.
Topaze.
Spath fluor.
Acide citrique.
Acide acétique.
Acide hydrochlorique.
Acide nitrique.
Cristal de roche.
Glace.
Eau.
Acide phosphoreux.
Acide sulfurique.

N° III. (*Se rapporte à la page* 109.)

MILIEUX RÉFRACTIFS.	PES. SPÉC.	MESURES DE RÉFRACTION POUR LES SEPT RAYONS DU SPECTRE DE LA FIGURE 55, MARQUÉS DES LETTRES SUIVANTES :						
		B. rouge.	C. rouge.	D. orangé.	E. vert.	F. bleu.	G. indigo.	H. vert.
Eau. . . .	1, 00	1,330935	1,331712	1,333577	1,335851	1,337818	1,341293	1,344177
Solution de potasse . .	1,416	1,399629	1,400515	1,402805	1,405632	1,408082	1,412579	1,416368
Huile de téréb.	0,885	1,470496	1,471530	1,474434	1,478353	1,481736	1,488198	1,493874
Crown-glass. .	2,235	1,525832	1,526849	1,529587	1,533055	1,536052	1,541657	1,546566
Crown-glass. .	2,756	1,554774	1,555933	1,559075	1,563150	1,566741	1,573535	1,579470
Flint-glass. .	3,723	1,627749	1,629681	1,635036	1,642024	1,648266	1,660285	1,671062
Flint-glass. .	3,512	1,602042	1,603800	1,608494	1,614532	1,620042	1,630772	1,640373

Nous croyons faire plaisir à nos lecteurs en terminant cet appendix par la description de deux machines à polir et doucir les verres d'optique, inventées en France, l'une par M. Tournant, et dont nous empruntons la planche et la description au bulletin de la société d'encouragement; l'autre inventée par M. Legey, et dont nous empruntons également la planche et la description au même recueil.

DESCRIPTION D'UNE MACHINE

Inventée par M. Tournant, *pour polir les verre d'optique.*

Toutes les personnes qui ont quelque connaissance de l'art de faire les verres d'optique, savent que les verres doucis (1) par le moyen d'une machine, acquièrent une figure plus régulière que ceux qui le sont par le travail de la main; mais que, lorrqu'il est question de les polir, c'est au contraire le travail de la main qui l'emporte sur celui des machines. Aussi est-il reçu parmi les praticiens, qu'une machine ne peut point parfaitement polir les verres d'optique.

Cependant la chose n'est pas impossible, puisque

(1) On appelle *doucir* les verres d'optique, leur donner la orme qu'ils doivent avoir, et les mettre en état de recevoir le poli.

le célèbre *Campani* faisait avec une machine tous les grands objectifs, qui ont eu et ont encore tant de réputation en Europe. Malheureusement cette mécanique si utile est perdue, et les efforts qu'on avait fait parmi nous et ailleurs pour en trouver une nouvelle qui produisît les mêmes effets, avaient été jusqu'ici sans succès. M. *Tournant*, plus persévérant et plus heureux, a imaginé celle que nous allons faire connaître, et avec laquelle il a déjà fabriqué, dans la dernière perfection, plusieurs verres et miroirs d'optique. Mais, avant d'en donner la description, il convient de dire quelle sorte de difficulté il fallait surmonter, et les conditions que cette mécanique devait remplir.

La matière dont on se sert pour doucir les verres, est l'émeri; et pour les polir, on emploie, ou de l'émeri très-fin, ou quelqu'oxide métallique, et principalement de l'oxide d'étain. Ces matières, puisqu'elles polissent le verre, l'entament et le raient nécessairement, et l'art de l'ouvrier consiste à croiser ces raies dans tous les sens possibles, et à les détruire, pour ainsi dire, les unes par les autres. L'ouvrier doit encore avoir un autre soin, c'est d'appuyer également sur toute la surface du verre, afin de ne point altérer sa forme. Il faut donc qu'une machine destinée à polir le verre, puisse imprimer, soit au verre, soit au bassin ou polissoir (1), des

(1) Le bassin est, à proprement parler, le moule auquel on a donné la forme que le verre doit avoir; il est ordinaire-

mouvemens assez variés, pour imiter le travail de la main, et que tous ces mouvemens ne tendent pas à détruire la forme qui a été préalablement donnée au verre.

La machine à polir les verres ressemble, pour ses parties principales, à un tour en l'air, et diffère seulement, comme lui, au moyen d'une pédale *k* (fig. 177). La roue du tour *a* est en plomb; le prolongement *b c* de son axe est carré, afin d'y pouvoir arrêter une poulie *d*, que l'on fixe à la distance convenable, au moyen d'une vis à oreille *e*.

L'arbre du tour soutenu sur les deux poupées EB, porte également à son extrémité, qui est aussi carrée, une poulie *f*. Cette extrémité de l'arbre est percée dans le centre, et reçoit une vis à tête *g*, qui arrête la poulie contre une embase *h*, faisant partie de l'arbre; une corde sans fin passe sur les deux poulies dont nous venons de parler.

On voit déjà que si la pédale communique par une corde à la roue de plomb, et la met en mouvement, cette roue fera tourner la première poulie,

---

ment en cuivre ou en laiton. On met de l'émeri entre lui et le verre; et en le tournant dans tous les sens, on finit par user le verre, et lui donner la même courbure qu'au bassin. Il est inutile d'ajouter que cette courbure du verre est ou concave ou convexe, selon que celle du bassin est concave ou convexe.

Lorsque le verre a pris la forme convenable, on le polit en interposant entre lui et le bassin des matières extrêmement ténues, et le bassin prend communément alors le nom de *polissoir*.

et celle-ci fera tourner la seconde, attachée à l'extrémité de l'arbre du tour. C'est à l'autre extrémité de cet arbre que le verre ou le bassin sont fixés dans la monture en cuivre *k*. Ainsi, ce verre ou ce bassin reçoivent par-là un mouvement circulaire. (Nous supposerons dans le reste de la description, que c'est le verre qui est fixé sur l'arbre du tour).

La roue de plomb a quatre rayons, ainsi qu'on peut le voir dans la figure 178. Sur l'un de ces rayons est placée une manivelle *l*, doublement coudée, et ayant la forme d'un Z. Elle est en fer, et fixée sur une pièce de fer carrée *m*, qui peut glisser le long du rayon, au moyen d'une vis de rappel *n*, et que l'on arrête à la distance convenable du centre, par une vis à tête perdue *o*.

La corde qui tient à la pédale, est accrochée à la première partie de la manivelle (fig. 177 et 178), au moyen d'une espèce d'anneau formé par une lame de cuivre ployée. A l'autre partie *q* de la manivelle est suspendue aussi, par un semblable anneau, une chaîne flexible *rs*, vers le milieu de laquelle est la monture *kp* qui contient le bassin ou polissoir. On voit donc que ce bassin sera élevé et abaissé avec le rayon de la roue qui porte la manivelle. Lorsque ce rayon est horizontal, le centre du bassin doit correspondre à celui du verre ou de l'arbre du tour. Ainsi, le bassin débordera le verre, soit en montant, soit en descendant, d'une quantité égale à la distance *qo*, qui existe entre la seconde partie de la manivelle et le centre de la

roue; et cette quantité peut devenir plus ou moins grande, ainsi que nous l'avons déjà dit, au moyen de la vis de rappel *n*.

On voit, d'après cette disposition générale de la machine, que le même mouvement qui fait tourner le verre, fait monter et descendre le bassin, ensorte que les petites parties d'émeri ou d'oxide d'étain, tracent sur le verre une foule de courbes qui, se croisant dans tous les sens, produisent le même effet que le travail de la main.

Après avoir exposé la composition principale de la machine à polir les verres, nous allons entrer dans quelques détails sur ses diverses parties.

La portion *q* de la manivelle décrit autour du centre *v* de la roue de plomb, un cercle dont le rayon est égal à la distance *qv*; conséquemment, elle s'éloigne autant à droite et à gauche de ce centre, qu'elle s'élève ou s'abaisse au-dessus ou au-dessous. Il suit delà, que le bassin attaché à la chaîne, aurait non-seulement un mouvement d'ascension et de descension, mais qu'il serait encore porté à droite et à gauche, si, pour éviter ce mouvement superflu, on ne faisait glisser la monture qui porte le bassin entre deux jumelles en bois FF, ainsi qu'on le voit (fig. 179); et comme il y a des montures de divers diamètres, les jumelles peuvent s'éloigner ou se rapprocher l'une de l'autre, au moyen d'une vis C.

Le polissoir suspendu au-devant du verre, ainsi que nous l'avons dit, doit être pressé contre lui,

afin que les matières destinées à polir le verre puissent l'user convenablement. Pour cela, on met d'abord au bas de la chaîne flexible un poids D, qui glisse dans une coulisse E, pratiquée à l'extrémité de la pédale, et qui, par la position qu'on lui voit dans la figure 177, tend déjà à appliquer le polissoir contre le verre. Mais comme ce moyen ne serait pas suffisant, on fait appuyer directement le polissoir contre le verre de la manière suivante :

Dans la pièce de bois G qui tient à l'établi, est placée une équerre en bois, mobile autour d'une broche I; à l'extrémité de la branche verticale est une longue tige H*k* aussi en bois, terminée par une pointe en fer qui entre dans une petite cavité formée au centre de la monture. Cette tige est mobile autour du point H. A l'autre branche de l'équerre est un poids L, dont on augmente ou diminue l'effet, selon qu'on l'éloigne ou qu'on le rapproche du sommet de l'équerre; ce poids fait appuyer la tige contre le polissoir, et conséquemment celui-ci contre le verre.

La chaîne flexible est faite d'un ressort de pendule, ou bien de fil de fer. Dans sa partie supérieure, il y a une vis de rappel *i* (fig. 177 et 179), qui sert à placer le centre de l'anneau qui porte le polissoir précisément au devant de celui du verre. Il y a encore dans la partie inférieure de la chaîne une autre vis de rappel *s*, au moyen de laquelle le poids qui est à l'extrémité de la chaîne est mis à la

distance convenable, pour être toujours contenu dans la coulisse de la pédale.

Enfin, la monture en cuivre, suspendue vers le milieu de la chaîne flexible, est, comme on le voit (fig. 179), un anneau à oreille fait en cuivre, dans lequel on ajuste le bassin ou le polissoir, selon que l'on veut doucir ou polir le verre.

Nous terminerons cette description de la machine en remarquant que, pour polir un verre, il est nécessaire que l'arbre du tour tourne très-lentement; et pour cela il faut que la poulie portée sur l'arbre de la roue de plomb, soit d'un très-petit diamètre, tandis que celle de l'arbre du tour sera beaucoup plus grande : il arrivera alors que, tandis que le verre aura fait un tour, le polissoir aura monté et descendu sept ou huit fois.

S'il s'agit de doucir le verre, ou d'obtenir pour quelque objet que ce soit un mouvement rapide, on emploiera les poulies u et x avec la poulie y, ou avec des poulies de tout autre diamètre, s'il est nécessaire.

A cette description des mouvemens produits par la machine à polir les verres, nous allons ajouter quelque chose sur les procédés employés par M. *Tournant*, pour former des polissoirs d'une forme parfaite; il emploie pour cela l'une ou l'autre des deux méthodes suivantes :

Par la première, on colle sur le verre qui doit être poli un papier très-fin; on en colle un semblable dans le bassin qui a servi à doucir ce verre,

c'est-à-dire, à lui donner la courbure qu'il doit conserver. (Je suppose ici que le verre est convexe et le bassin concave; mais il en serait de même pour le cas contraire). Par cette opération la surface convexe est un peu étendue, et celle concave un peu diminuée. On frotte ensuite ces deux surfaces l'une contre l'autre, jusqu'à ce que le grain du papier soit usé par l'émeri à demi-fin que l'on a répandu entre elles en très-petite quantité : après quoi on ôte le papier collé sur le verre; on souffle, on brosse, et l'on essuie celui qui est dans le bassin, et l'on y répand un peu d'émeri très-fin et propre à polir. Cet émeri très-fin s'obtient en agitant une certaine quantité d'émeri dans de l'eau, et en ne prenant que celui qui reste encore suspendu dans cette eau après un long repos.

La seconde méthode que l'auteur préfère à la première, consiste à avoir un bassin de fer ou de tôle épaisse, enduit d'un ciment mou, suivant la saison. (En hiver, la poix pure peut être employée sans addition). On fait chauffer ce bassin, et l'on y applique une feuille de papier dont le grain a été usé préalablement avec une pierre ponce. Ce papier, un peu plus large que le bassin, se colle sur le ciment; on en replie le bord en dehors, et on le retient par un cercle formé d'un ressort de pendule, que l'on serre au moyen d'une vis. En cet état, après avoir donné une faible chaleur au verre, on le place dans le bassin, et l'on force le ciment à prendre la véritable forme du verre, en appuyant celui-ci au

moyen d'une petite presse que l'on serre de temps en temps.

Les procédés que nous venons de décrire sont, ainsi que la machine, très-propres à porter la perfection dans le travail du polissage des verres d'optique; mais cette machine a de plus l'avantage de rendre le travail fort rapide, en permettant de polir plusieurs verres à-la-fois, ainsi que nous allons l'expliquer.

On enchâsse pour cela dans un ciment qui puisse devenir très-solide, plusieurs verres de même convexité (cinq ou six par exemple), et on les arrange de manière que leur surface fasse partie de la surface d'une même sphère : on place ensuite cette réunion de verres sur l'arbre du tour, comme si c'était un seul grand verre, on suspend à la chaîne un bassin ou polissoir également grand, et d'une courbure convenable; et, par le mouvement de la machine, tous ces verres se polissent à la fois.

On voit enfin que, par l'emploi de cette machine, il est facile de doucir et de polir des verres et des miroirs d'optique de toutes les grandeurs.

DESCRIPTION D'UNE MACHINE

Propre à doucir et polir les verres d'optique, inventée par M. LECKY, *ingénieur en instrumens de mathématiques, rue de la Planche, n° 12, à Paris.*

Le procédé que l'on suit généralement pour travailler les verres d'optique consiste à les user dans des bassins de cuivre convexes ou concaves, selon que la surface du verre doit être concave ou convexe. Ces bassins sont travaillés au tour, où on leur donne le degré de courbure que doit avoir le verre; mais cette opération est très-incertaine : d'ailleurs la courbure du bassin est bientôt altérée plus ou moins par le frottement du verre et de l'émeri; il peut même arriver souvent qu'après avoir terminé heureusement le premier travail, qu'on appelle *douci*, on altère la courbure du verre en le polissant, parce qu'on est obligé, pour le polir, de placer sur la surface du bassin un corps mou, tel que du papier.

Frappée de l'incertitude de ce procédé, surtout lorsqu'il faut travailler des objectifs achromatiques, qui exigent une grande précision, la Société d'Encouragement appela en 1820 l'attention des mécaniciens sur cet objet important, en proposant un prix de 2500 francs *pour la construction d'une machine pouvant servir à donner aux verres de lu-*

nettes la courbure que l'on veut, et les polir parfaitement sans altérer cette courbure. Ce problème paraissait d'autant moins difficile à résoudre, que déjà M. *Reichenbach*, célèbre opticien de Munich, employait avec succès des procédés mécaniques pour exécuter ses verres de lunettes, et qu'il s'agissait de construire une machine qui remplit les mêmes conditions.

Les premières années, ce concours fut peu fructueux, les concurrens n'ayant présenté, les uns, que des modèles de petite dimension, les autres, que des essais qui ne donnaient aucun résultat positif; mais en 1825 le prix fut près d'être remporté par M. *Stewart*, de Bordeaux. Cet habile mécanicien envoya une machine très-simple, qui, essayée en présence des commissaires de la Société, fut jugée très-favorablement et aurait sans doute été couronnée, si elle n'eût laissé quelque chose à désirer sous le rapport du polissage des verres. Cette machine, aujourd'hui déposée au conservatoire des arts et métiers, se compose d'une espèce de tour en l'air vertical, qui donne le mouvement de rotation au bassin, au-dessus duquel est suspendu le verre en travail, fixé à une tige métallique de longueur variable à volonté et mobile sur un mouvement de *Cardan*, dont le centre est exactement celui de la portion de surface sphérique qu'il s'agit d'exécuter. La machine, par elle-même, ne donne aucun mouvement au verre; c'est l'ouvrier qui le conduit à la main

comme dans la méthode ordinaire, mais avec la différence qu'il lui faut beaucoup moins d'adresse.

Dans l'espoir que M. *Stewart* se présenterait de nouveau avec une machine perfectionnée, la Société remit la distribution du prix à l'année 1826, après avoir décerné à cet artiste une médaille d'or, comme un témoignage de sa satisfaction. Cet espoir fut déçu, et le concours de 1826 ne produisit aucun résultat. Dans ces circonstances, la Société se détermina à retirer le prix, et à publier dans son *Bulletin* les dessins et la description de la machine inventée par feu M. *Frauenhofer*, et employée dans les ateliers de M. *Reichenbach*. Malheureusement, les démarches faites à Munich pour obtenir la communication de ces documens sont restées sans succès.

Cependant, les tentatives faites par plusieurs artistes pour remplir les vues de la Société méritent d'être connues. C'est ce qui nous engage à donner la description de la machine présentée dans le temps par M. *Legey*. Quoique exécutée seulement en modèle, toutes les fonctions s'en opèrent avec assez de facilité pour qu'on soit autorisé à en attendre les plus heureux résultats.

Ce mécanisme, représenté en plan et en élévation (fig. 180, 181 et 182) est tellement disposé, que la simple application d'un moteur quelconque à une manivelle suffit pour faire tourner le verre, en le promenant de manière à croiser les traits, sur une meule plate, qui a aussi un mouvement circulaire sur elle-même et de va-et-vient perpendicu-

lairement à son axe. Au moyen de ces quatre mouvemens, qui s'opèrent d'une manière aussi simple que sûre, chaque partie du verre est mise successivement en contact avec chaque partie de la meule, et le verre doit acquérir infailliblement par ce travail la forme d'une portion de sphère, qui ne doit pas s'altérer au poli qu'on lui donne par le même procédé. Quant au rayon, on le détermine et on le fixe à volonté de la manière la plus exacte et la plus facile.

Les verres concaves s'obtiennent en substituant, dans l'appareil précédent, le verre à la place de la meule plate, une meule bombée à la place du verre, et en arrêtant le mouvement de va-et-vient de la meule pour couper les traits.

Les verres plans se travaillent placés à l'extrémité de l'axe, auquel on ne laisse que son mouvement de rotation, et on rétablit la meule plate, qui reprend ses deux mouvemens de va-et-vient et de rotation.

Les commissaires de la Société chargés d'examiner cette machine ont douté que les deux dernières espèces de verre pussent réussir aussi bien que les verres convexes, à cause des centres des pièces tournantes qui, se trouvant privés de mouvement, ne s'useront pas par le seul effet de la rotation, mais seulement par le mouvement de va-et-vient de l'une des parties agissantes.

L'auteur a remédié à cet inconvénient en donnant de l'excentricité à l'axe inférieur qui porte le

verre en travail, et en appliquant la suspension à *Cardan* à l'un des collets de ce même axe. De cette manière, la machine est susceptible de confectionner les verres concaves avec autant de perfection que les verres convexes.

La machine est établie dans un bâtis A (fig. 180, 181 et 182). Sur le sommier A' chemine dans des coulisses PP un chariot O, qui porte un centre de rotation Y, sur lequel est montée une meule plate Z, qui doit être dressée avec beaucoup de soin, et qui s'use également sur tous les points. Cette meule a un mouvement de rotation sur elle-même par la poulie Q, enveloppée du cordon R, et de translation en ligne directe au moyen de la tige *d*. Au-dessus de la meule est suspendue verticalement une molette J, à l'extrémité de laquelle est fixé le verre : cette molette, surmontée d'une tige H rentrant dans une douille G, a un mouvement de rotation sur elle-même et d'oscillation sur deux pivots *i i* : le premier lui est transmis par une poulie T, enveloppée du cordon R et montée sur la tige H; le second, par une tringle coudée en équerre KL, qui tient par sa partie L à une bielle coudée *h*. Le corps de la molette est suspendu dans une alidade D, mobile entre les deux supports B B sur les pivots *k k*, et qu'on hausse ou baisse à volonté, au moyen d'une tige filetée E, passant dans son extrémité antérieure. En faisant tourner cette tige par son bouton goudronné F, on éloigne ou on rapproche le verre de la meule, et on détermine ainsi le rayon de la courbe voulue.

La machine est mise en action par une manivelle X, dont l'axe porte un treuil V, autour duquel s'enveloppe le cordon R. Ce cordon, après avoir embrassé la poulie Q, passe successivement sous la poulie *l* et sur celle S, fixée contre le mur de l'atelier; de là il s'enroule sur la poulie T, passe sur celle U, et vient regagner finalement le treuil. On conçoit qu'en faisant tourner ce dernier, le mouvement de rotation est communiqué à la fois à la meule et à la molette.

Nous avons dit que le chariot chemine dans ses coulisses par l'intermédiaire de la tige *d*; cette tige est attachée d'une part à ce chariot, et de l'autre à une bielle coudée *c*, sur laquelle est montée une roue dentée *b*, menée par la vis sans fin *a* faisant corps avec l'axe moteur. Le mouvement étant imprimé à cette vis et à la roue dentée, le chariot est alternativement poussé et ramené d'une quantité égale à la longueur du bras de la bielle coudée *c*.

La tringle K, qui fait osciller la molette, passe dans une espèce de genou M; elle est coudée en équerre et mobile sur une goupille *t*. En tournant la bielle *h* par l'axe moteur, on fait lever ou baisser la branche L de cette tringle d'une quantité égale à la longueur du coude de la bielle. Ce mouvement se transmet à la branche K et par suite à la molette : on en règle l'amplitude en haussant ou baissant l'axe horizontal N, dans lequel passe la branche L. Cet axe est monté sur des brides *f*, qui embrassent les montans CC, et qu'on arrête par les vis de pres-

sion *g*. L'un de ces montans porte une échelle graduée *n*, afin de pouvoir alonger ou raccourcir exactement la courbe que décrit la molette.

Telle est la disposition générale de cette ingénieuse machine, dont nous allons expliquer les diverses opérations.

1°. Pour faire un verre convexe suivant une courbe déterminée, on cimente sur une molette de cuivre ou de bois J, dont le bord est parfaitement tourné, un verre proportionné à l'épaisseur et au diamètre de la lentille qu'on veut façonner, en ayant soin de la bien centrer; on monte cette molette sur le centre de rotation I et on l'arrête par une vis.

La meule, bien dressée, est fixée sur un plateau par quatre tenons, et posée ensuite sur le centre de rotation du chariot, où elle est arrêtée par une vis.

On a soin de descendre la tige H jusqu'à ce que de son centre fixe au plan de la meule la distance soit égale au rayon de la courbe demandée; ensuite on monte ou descend la branche L d'une quantité proportionnée au diamètre du verre, puis on fait tourner la manivelle X : on verra alors le plateau et le verre tourner en sens opposé, le chariot opérer un mouvement de va-et-vient horizontal, et la molette osciller en décrivant la courbe désirée. Au fur et à mesure que le verre s'use, on le fait appuyer sur la meule en baissant l'alidade D, à l'aide de la tige taraudée E.

Pendant que le verre se forme, l'ouvrier vérifie

avec une tige divisée la distance du centre fixe au plan de la meule.

2°. Pour faire un verre concave, on substitue une petite meule bombée au verre, et celui-ci à la meule plate; on fixe l'un et l'autre sur leurs centres respectifs; on arrête le mouvement de va-et-vient du chariot, au moyen de deux crochets, et en ôtant la tige *d*, qui l'unit à la bielle *h*. On conçoit que le chariot étant immobile, le verre placé sur le plateau n'a plus qu'un mouvement de rotation, tandis que la meule fixée au bout de la molette conserve ses mouvemens d'oscillation et de rotation combinés. Cette molette décrivant toujours un arc de cercle, la courbe interne du verre aura pour rayon la distance du centre fixe au centre du verre.

L'auteur a changé cette disposition en mettant hors de l'aplomb l'axe *p* du plateau *q*, qui porte le verre *o* en travail, et le faisant tourner sur une vis de centrage *r* (voyez fig. 184 et 185); en même temps il entoure le plateau de cercles *ss*, d'une largeur égale à l'épaisseur de la meule, et suspendus par un mouvement de *Cardan* entre les supports du chariot O. De cette manière, toutes les parties du verre et de la meule sont constamment balancées et s'useront également sans que le frottement soit plus grand sur un point que sur l'autre.

3°. Pour travailler un verre plan, on fait l'inverse de l'opération précédente, c'est-à-dire qu'on arrête l'oscillation de la molette au moyen du crochet *u*, après avoir ôté la goupille *t* de la tringle K:

cette tringle se loge dans l'échancrure de la poupée *p*, où elle est arrêtée par une vis de pression *x*; ce qui donne plus de fixité à la molette, laquelle ne conserve plus alors que son mouvement de rotation sur elle-même. On replace en même temps la tige de communication *d* du chariot, afin que celui-ci reprenne son mouvement de va-et-vient. Les choses ainsi disposées, le verre, en passant sous la meule plate, s'use également sur tous les points, jusqu'à ce que l'ouvrier le juge assez poli.

Pour vérifier si la machine fonctionne bien, on a une aiguille indicatrice, dont un bout aplati frotte sur le verre et l'autre bout le long d'un cadran divisé, fixé à l'un des montans C. Si cette aiguille oscille pendant qu'elle se trouve ainsi engagée entre le verre et la meule, c'est une preuve qu'il y a dans la coulisse du chariot un défaut qu'il faudrait alors corriger.

Une des principales précautions à prendre, c'est de bien tourner le bord des molettes; s'il n'est pas exact, l'ouvrier rectifie la position par le moyen indiqué pour les verres plans.

On place une grande auge horizontale doublée en plomb sur le bâtis, pour recevoir les éclaboussures de l'emeri.

L'auteur n'a rien changé aux mordans; ils sont les mêmes que ceux ordinairement employés.

EXPLICATION DES FIGURES.

FIGURE 180. Elévation latérale de la machine à travailler les verres d'optique.

FIGURE 181. Elévation vue par-derrière.

— 182. Plan.

— 183. Section horizontale du chariot.

— 184 et 185. Plan et élévation du perfectionnement pour tailler les verres concaves.

AA, bâtis de la machine; A', sommier; BB, les deux supports de devant; CC, les deux montans de derrière, entre lesquels est établi le mécanisme; D, alidade pour régler la position du verre; E, tige taraudée, qui fait lever ou baisser cette alidade; F, tête goudronnée, montée sur la tige et servant à la faire tourner; G, douille à centre fixe; H, tige passant à frottement dur dans la douille précédente; I, centre de rotation de la molette; J, molette en bois exactement tournée; KL, triugle coudée en équerre, à l'aide de laquelle on imprime un mouvement oscillatoire à la molette; M, genou qui reçoit la branche K de la tringle; N, axe pour régler la position de la branche verticale L; O, chariot; PP, coulisses dans lesquelles il chemine; Q, poulie qui fait tourner la meule; R, cordon enveloppant cette poulie et celle de la molette; S, poulie de renvoi fixée contre le mur de l'atelier et sur laquelle passe le cordon précédent; T, poulie de la molette; U, autre poulie placée entre les deux mon-

tans CC; V, treuil; X, manivelle; Y, pivot de la meule; Z, meule pour les verres convexes, remplacée par un plateau pour les verres plans et concaves.

a, vis sans fin faisant corps avec l'axe moteur; *b*, roue dentée menée par cette vis; *c*, bielle coudée de l'axe de cette roue; *d*, levier qui fait avancer ou reculer le chariot; *e*; vis pour arrêter la tige H dans la douille G; *f*, brides faisant glisser l'axe N le long des montans CC; *gg*, vis pour les arrêter; *h*, bielle coudée de l'axe moteur; *ii*, vis sur lesquelles la molette prend son mouvement d'oscillation; *kk*, pivots de l'alidade D; *l*, poulie sous laquelle passe le cordon R; *m*, traverse ou sommier du bâtis, recevant les pivots des axes E et *c*; *n*, échelle graduée tracée sur l'un des montans C; *o*, (fig. 184 et 185) verre concave monté sur le plateau; *p*, axe oblique du plateau *q*; *r*, vis de centrage de cet axe; *ss*, cercles suspendus par un mouvement de *Cardan*; *t*, goupille qui unit les tringles K et L; *u*, crochet pour arrêter l'oscillation de la molette; *v*, poupée qui reçoit la branche K dans une échancrure; *x*, vis de pression de cette poupée.

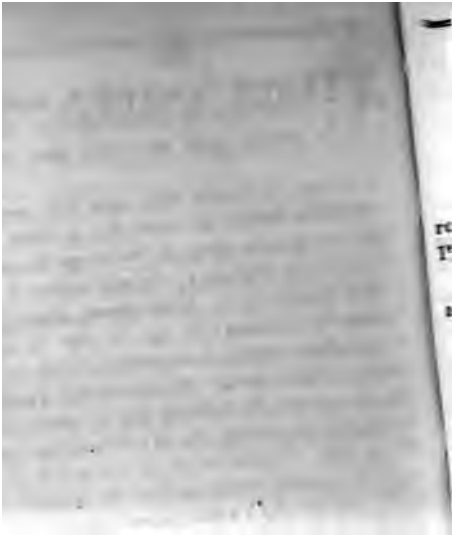


TABLE ANALYTIQUE.

ABERRATION sphérique des lentilles et miroirs. — longitudinale et latérale, chap. VI, page 64, I^er^ vol. — chromatique, p. 98, I^er^ vol.

ÆPINUS (M.), ses expériences sur les couleurs accidentelles, p. 145, II^e^ vol.

AIMANT, plusieurs expériences faites par le professeur Barlocci et Lantedeschi sur l'influence magnétique de la lumière sur lui, p. 117, I^er^ vol.

AIR, sa force d'absorption, p. 181, I^er^ vol.

AMICI, professeur de Modène, propose plusieurs modèles d'une chambre claire qui n'a point les défauts de celle du docteur Wollaston, p. 183, II^e^ vol. — Fait reparaître le microscope réflecteur sous une meilleure forme, p. 196, II^e^ vol.

ANALCIME, structure polarisante de ce minéral, tire son nom de sa propriété de ne pas donner d'électricité par la friction, p. 19, II^e^ vol.

ARAGO (M.), les couleurs produites par les plaques cristallisées dans la lumière polarisée, et étudiées avec succès par Biot et d'autres auteurs, découvertes par lui, p. 245, I^er^ vol.

ARC-EN-CIEL primaire et secondaire, p. 87, — Leur lumière polarisée entièrement dans les plans des rayons de l'arc, p. 91, II^e^, vol.

ARCHIMÈDE, machine, dont on suppose qu'il a détruit les vaisseaux de Marcellus, p. 161, IIe vol.

ATMOSPHÈRE, sa force réfractrice, p. 75, IIe vol.

AXES des lentilles, p. 33, Ier vol.

B.

BARLOCCI, professeur; ses expériences; trouve que la force de l'aimant naturel armé est presque doublée par une exposition de vingt-quatre heures à la lumière du soleil, p. 117, Ier vol.

BARLOW; son télescope achromatique, p. 227, IIe vol.

BARTON (Jean); produit de la couleur par des surfaces à facettes, et communique ces couleurs par la pression à différentes substances, p. 159, Ier vol.

BATHA (marées de), expliquées par Newton et Halley, p. 179, Ier vol.

BAUMGARTNER (M.); ses expériences; découvre qu'un fil de fer dont quelques parties sont polies et d'autres sans lustre, devient magnétique lorsqu'on l'expose à la lumière blanche du soleil, un pôle du nord paraissant à chaque partie polie, et un pôle du sud à chaque partie non polie; obtient huit pôles sur un fil de fer long de huit pouces (203 millimètres), p. 116, Ier vol.

BERARD (M.); ses expériences sur la force calorifique du spectre, p. 111, Ier vol.

BERZELIUS (M.); ses expériences sur l'absorption, p. 187, Ier vol.

BIOT ET ARAGO; sur la lumière polarisée, p. 229, I^er^ vol.

BLACKADDER; aperçoit quelques phénomènes de mirage latéral et vertical au bastion du Roi-Georges, à Leith, p. 82, II^e^ vol.

BLAIR (le docteur); sa lentille achromatique p. 104, I^er^ vol. — construit un télescope à prisme, p. 226, II^e^ vol.

BOVISTA LYCOPERDON; sa graine, p. 149, I^er^ vol.

BOYLE; ses observations sur les couleurs des plaques minces, p. 128, I^er^ vol.

BRERETON (lord); ses observations sur les couleurs des couches minces, p. 128, I^er^ vol.

BUCHAN (le docteur), attribue la réfraction extraordinaire à la réflexion extraordinaire, p. 86, II^e^ vol.

BUFFON; construit un appareil incendiaire, application de son principe, p. 161, II^e^ vol.

C.

CAMÉLÉON MINÉRAL, p. 114, II^e^ vol.

CARBONE (sulfure de), d'un grand usage dans les recherches optiques, et employé au lieu de flint-glass par M. Barlow, p. 228, II^e^ vol.

CARPA. M. Et. (M.) Ridolfi répètent avec succès les expériences du docteur Morichini, p. 115, I^er^ v

CASSIA (huile de), p. 31 et 97, I^er^ vol.

CATOPTRIQUE, p. 5, Ier vol.

CAUSTIQUES; par réflexion, p. 74, Ier vol. — — Par réfraction, p. 78, *idem*.

CHALEUR; son influence sur le pouvoir absorbant des milieux colorés; phénomènes analogues dans les corps minéraux, p. 286, Ier vol. — Influence passagère du froid et du chaud, p. 42, IIe v.

CHARBON, le plus absorbant de tous les corps, p. 182, Ier vol.

CHAMBRE OBSCURE, instrument d'optique inventé par le célèbre B. Porta, p. 177, IIe vol.

CHAMBRE CLAIRE inventée par le docteur Wollaston, p. 182, IIe vol.

CHEVALIER (M., de Paris); fait usage de prisme meniscus pour la chambre obscure, 172 IIe vol.

CHRISTIE, (M. de Woolwik); son expérience confirmée par celle de MM. Barlocci et Zantedeschi, p. 117, Ier vol.

CODDINGTON (M.); ses observations sur le microscope composé, p. 192, IIe vol.

COMPRESSION ET DILATATION, leur influence optique, p. 53, XIIe vol.

CORPS (pouvoir absorbant des), nature du pouvoir à l'aide duquel ils absorbent la lumière n'est pas encore connue; tous les corps transparens n'absorbent pas les couleurs dans les mêmes proportions, p. 184, Ier vol. — Corps naturels, leur couleur, p. 106, IIe vol.

COULEURS ACCIDENTELLES et ombres colorées, p. 141, II^e vol. — Leurs phénomènes expliqués par diverses expériences, p. 150, II^e vol.

COURBES caustiques formées par réflexion et par réfraction, p 74 et 78, I^er vol.

CRISTAUX; à un seul axe de double réfraction, p. 196; I^er vol. — Quelles substances minérales ou chimique sont deux axes de réfraction, p. 203, I^er v. — Liste des formes primitives suivant Haüy, p. 204, I^er vol. — Dans ceux à deux axes, système des anneaux colorés, p. 1, II^e vol. — Influence du chaud et du froid uniformes, p. 50, II^e vol. — Composés dans le sulfate pyramidal de potasse, p. 57, II^e vol. — Dans l'apophylite, p. 58, II^e vol. — Dans le spath d'Islande, p. 60, II^e vol. — Multiplication des images par les cristaux de spath calcaire à un seul axe, p. 65, II^e vol. — Différentes couleurs des images produites par double réfraction dans les cristaux à deux axes, p. 69, II^e vol.

CUBES de verre, à double réfraction, page 45, II^e vol.

CYLINDRES de verre avec un axe positif de double réfraction, p. 43, II^e vol. — Avec un axe négatif de double réfraction, p. 44, II^e vol.

D.

D'ALEMBERT, p. 226, II^e vol.

DAVY (sir Hamphry), répète les expériences de Bérard sur le pouvoir colorifique du spectre en Italie et à Genève; le résultat de ces expériences

confirme ceux des expériences du docteur Herschel, p. 112, I^er vol.

DE CHAULNES (duc de), p. 144, I^er vol.

DESCARTES, p. 68, I^er vol.

DÉVIATION (angle de), p. 35, I^er vol.

DIAMANT, p. 31, I^er vol.

DICHROISME ou double couleur des corps,

DIOPTRIQUE, p. 4, I^er vol.

DISPERSION irrationnelle, p. 97, I^er vol.

DI TORRE (le père); de Naples, son perfectionnement pour les sphères de microscopes du docteur Hook, p. 186, II^e vol.

DOLLOND (M.), télescope achromatique amené à un haut degré de perfection, p. 103, I^er vol.

E.

EAU, sa force d'absorption, p. 181, I^er vol.

ELLIPSE, p. 68, I^er vol.

ENCRE; étendue, absorbe tous les rayons colorés du soleil dans la même proportion; appliquée par sir William Herschel, comme substance noircissante pour obtenir une image blanche du soleil, p. 184, I^er vol.

ENGLEFIELD (sir Henri), p. 111, I^er vol.

ERIOMÈTRE, instrument proposé par le docteur Young; sa description; manière de s'en servir, p. 148, I^er vol.

F.

FANTASMAGORIE, p. 181, II^e vol.

FARADAY (M.); ses observations sur le verre teint en pourpre par le manganèse; son pouvoir absorbant altéré par la transmission des rayons solaires, p. 188, I^er vol.

FATA MORGANA; rapport sur celles vues dans le détroit de Messine, p. 80, II^e vol.

FIBRES déliées, leurs couleurs, p. 148, I^er vol.

FLUIDES (polarisation circulaire dans les), découverte par M. Biot et le docteur Seebeck, p. 26, II^e vol.

FOCAL (point), p. 13, I^er vol.

FOYERS conjugués, p. 13, I^er vol.

FOYER principal pour les rayons parallèles, p. 11, I^er vol. — Règle pour trouver le principal pour une seule surface concave, p. 47, I^er vol.

FRAUNHOFER (M.), de Munich, ses observations sur les lignes du spectre, aperçoit des bandes semblables dans la lumière des planètes et des étoiles fixes, p. 107, I^er vol. — Force de clarté du spectre, p. 109, I^er vol.

FRESNEL (M.) explique les phénomènes de l'inflexion ou diffraction de la lumière, p. 119, I^er v. — Son expérience sur l'interférence de la lumière polarisée, p. 13, II^e vol. — Ses découvertes sur la polarisation circulaire, p. 28, II^e vol.

G.

GORDON (la duchesse de), p. 130, I^er vol.

GORING (le docteur), ses améliorations sur toutes sortes de microscopes; introduit l'usage des réactifs mycroscopiques, p. 197, IIe vol. — Ouvrage sur le microscope, publié par lui et M. Pritchard, p. 197, IIe vol.

GRAY (M. Stephen), p. 187, IIe vol.

GREGORY (James), le premier qui découvrit la construction du télescope réflecteur, p. 205, IIe v.

GRIMALDI; sa découverte de l'inflexion ou diffraction de la lumière, p. 119, Ier vol.

H.

HALL (M.); inventeur du télescope achromatique, p. 103, Ier vol.

HALLEY (le docteur), ses observations sur l'arc-en-ciel, p. 92, IIe vol.

HALOS, description de leurs couleurs, leur origine et leur description, p. 94, IIe vol.

HAUY (l'abbé), découvre le manque d'électricité par la friction dans l'analcime, p. 19, IIe vol.

HERSCHEL (M.), sa découverte d'une autre paire d'images prismatiques dans les couches minces de nacre de perle, p. 157, Ier vol. — Il fournit les données principales de la théorie ondulatoire, p. 179, Ier vol. — Il donne les résultats de plusieurs auteurs sur les flammes colorées, p. 190, Ier vol. — Découvre que, dans les cristaux à deux axes, les axes changent de position suivant la couleur de la lumière qu'on emploie, p. 205, Ier vol.

HERSCHEL (sir W.); son expérience sur la force calorifique du spectre confirmée par sir Henri

Englefield, p. 110, Ier vol. — Se sert d'encre pour obtenir une image blanche du soleil, p. 184, Ier vol. — Construit un télescope long de 40 pieds (12191 mill.) avec lequel il découvre le sixième satellite de Saturne, p. 215, IIe vol.

HEVELIUS, ses observations sur un parasélène, p. 98, IIe vol.

HOME (sir Everard), sa description de la perle, p. 156, Ier vol.

HOOK (le docteur), construit de petites sphères pour les microscopes, p. 186, IIe vol.

HUYGENS découvre la loi de double réfraction dans les cristaux; détermine la réfraction extraordinaire d'un point quelconque de la sphère, p. 199, Ier vol. — Publie une théorie raisonnée des halos, p. 99, IIe vol. — Découvre l'anneau et le quatrième satellite de Saturne, p. 202, IIe vol.

HUDDART (M.), sa description de quelques cas de réfraction extraordinaire, p. 77, IIe vol.

I.

INCIDENCE (angle de). — (Plan d'), p. 7, Ier v.

INDURATION, son influence, p. 55, IIe vol

INTERFÉRENCE (loi d'), p. 172, Ier vol.

IOLITE, ses propriétés, p. 67, IIe vol.

IRIS (ornemens d'), inventés par John Barton esq., p. 159, Ier vol.

ISLANDE (spath d'), sa composition. — Se trouve dans presque tous les pays, p. 192, Ier vol.

comme produites par les miroirs concaves, p. 142, Ier v. — Méthode pour mieux voir leurs couleurs, et étudier leur théorie, p. 145, Ier vol.

POLARISATION circulaire ; ce sujet étudié avec beaucoup d'adresse et de succès par M. Biot, p. 20, IIe vol. - Elliptique, p. 31, IIe vol.

PORTA (Baptiste), inventeur de la chambre obscure, p. 177, IIe vol.

PRINCIPALE distance focale, p. 11, Ier vol.

PRISMES (Réfraction de la lumière au travers des), p 33, Ier vol.

PRISMES de crown-glass et de diamant, comparaisons de leurs forces dispersives, p. 95, Ier vol.

PRISME ménisque, mis en usage pour la chambre obscure, par M. Chevalier, p. 172, IIe vol.

PRISMES composés et variables, p. 173, IIe v.

PROPENSIONS (Théorie des), remplacée par la doctrine de l'interférence, p. 171, Ier vol.

Q.

QUARTZ, p. 129, Ier vol.

R.

RAMAGE (M. d'Aberden), construit divers télescopes de Newton, dont le plus grand est à l'observatoire royal de Greenwich, p. 215, IIe vol.

RAYONS solaires divergens et convergens, p. 105, IIe vol. — Leur force magnétique, p. 115, Ier vol.

RAYONS, réflexion des parallèles, p. 8, Ier vol.

leur pouvoir grossissant, p. 55, Ier vol. — Convexes et concaves, p. 166, IIe vol. — Ardentes et éclairantes, p. 167, IIe vol.

LENTILLES POLIZONALES, construites pour les membres de la commission des phares du nord. — Introduites dans les principaux phares français, p. 170, IIe vol.

LEREBOURS (M.) a dernièrement exécuté deux verres achromatiques, qui se trouvent à l'observatoire de sir James South, à Kensington, p. 220, IIe v.

LUMIÈRE, vélocité avec laquelle elle se meut en ligne droite, p. 3, Ier vol. — Lorsqu'elle tombe sur une surface quelconque, son angle de réflexion est égal à son angle d'incidence, p. 7, Ier vol. — Sa réflexion totale, p. 37, Ier vol. — Sa réfraction par les surfaces courbes, p. 41, Ier vol. — Sa réfraction par les sphères, p. 43, Ier vol. — Sa réfraction par les surfaces concaves et convexes, p. 46, Ier vol. — Sa réfraction par les lentilles convexes, p. 48, Ier vol. — Sa réfraction par les lentilles concaves, p. 52, Ier vol. — Sa réfraction par les lentilles ménisques et concavo-convexes, p. 54, Ier v. — De ses couleurs et de sa décomposition, p. 81, Ier vol. — Lumière blanche, sa composition découverte par sir Isaac Newton, p. 82, Ier vol. — Réfrangibilité différente de ses rayons, p. 85, Ier vol. — Décomposition de la lumière blanche, p. 85, Ier vol. — Sa décomposition par l'absorption, p. 87, Ier vol —Son inflexion ou diffraction. p. 119, Ier v. — Plusieurs propriétés curieuses de la lumière,

p. 159, Ier vol. — Son interférence, p. 166, Ier v. — Son absorption, 181, Ier v. — Nouvelle méthode proposée pour analyser la lumière blanche, p. 188, — Sa double réfraction découverte dans le spath d'Islande, p. 191, Ier vol. — Sa polarisation par la double réfraction., p. 209, Ier vol. — Sa polarisation partielle par la réflexion et par la réfraction ordinaire, p. 229, Ier v. — Polarisée, couleurs des plaques cristallisées dans la, p. 12, IIe vol. — Action des métaux sur elle, sa force d'absorption, p. 63, IIe vol.

LUMINEUX (corps), p. 1, Ier vol.

LUNETTES périscopiques, inventées par le docteur Wollaston, p. 167, IIe vol.

M.

MAGNÉTISME (expériences sur le), p. 118, Ier vol.

MALUS (M.) découvre la polarisation de la lumière par la réflexion, p. 222, Ier vol.

MARIOTTE, sa découverte curieuse, que la base du nerf optique est incapable de porter à la cervelle les impressions de la vue distinct. — Il le prouve par l'anatomie comparative, p. 121, IIe vol.

MEGASCOPE, modification de la chambre obscure, p. 180, IIe vol.

MENISCUS, p. 32, Ier vol. — Son effet sur les rayons parallèles et divergens, p. 54, Ier vol.

MICROSCOPE simple, p. 64, Ier vol. — Sa

force grossissante. — Inventé par Jansen et Drebell, p. 184 et 185, II^e v. — Fait de grenat, de diamant, de rubis et de saphir, p. 187, II^e vol.

Id. Réflecteur, p. 64, I^er vol. — Proposé par sir Isaac Newton, mais reconstruit par le professeur Amici, de Modène, sous une forme plus simple, p. 196, II^e vol.

Id Composé, p. 190, II^e vol.

Id. Solaire, p. 199, II^e vol.

MICROSCOPIQUES (observations, règles pour les), p 198, II^e vol.

MIRAGE, nom donné à certains effets de réfraction extraordinaire, par les Français, lorsqu'ils marchaient dans les déserts sablonneux de la Basse-Egypte, p. 80, II^e vol.

MIROIRS, p. 6, I^er vol. (images formées par les), p. 17, I^er vol. — Concaves (formation des images par les), p. 19, I^er vol. — Propriétés qui les distinguent, p. 163, II^e vol. — En usage comme réflecteurs dans les phares, et comme instrumens incendiaires, p. 167 et 170, II^e v. — Convexes (formation des images par les), p. 20, I^er vol. — Planes (formation des images par les), p. 22, I^er vol. — Leur aberration sphérique, p. 72, I^er vol. — Planes et courbes, p. 156, II^e vol. — Planes ardens, effet produit par plusieurs réunis, p. 161, II^e vol.

MOHS, son système prismatique, p. 2, II^e vol.

MORICHINI, le docteur, son expérience sur la force magnétique des rayons solaires. — Magnétise plusieurs aiguilles en présence de sir H. Davy du

professeur Playfair, et d'autres savans anglais, p. 115, Ier vol.

N.

NACRE DE PERLE, ses couleurs principales, obtenue de l'écaille de l'huître perlière ; long-temps employée dans les arts ; manière d'observer ses couleurs, p. 156, Ier vol.

NEWTON (sir Isaac), découvre la composition de la lumière blanche, p. 82, Ier vol. — Recompose la lumière, blanche, p. 85, Ier vol. — Décrit l'inflexion ou diffraction de la lumière, p. 119, Ier v. — Sa méthode de produire une mince couche d'air. Compare les couleurs vues par la réflexion à celles vues par la transmission, p. 130, Ier vol. — Ses observations sur les couleurs des plaques épaisses, par des miroirs concaves, p. 142, Ier vol. — Sa théorie des couleurs produit des corps naturels, p. 107, IIe vol. — Son expérience sur les couleurs accidentelles, p. 144, IIe vol. — Est le premier qui applique un prisme rectangulaire aux télescopes réflecteurs, p. 171, IIe vol. — Exécute de ses propres mains un télescope réflecteur, p. 205, Ier vol.

NON-LUMINEUX (corps), p. 1, Ier vol.

O.

OCULAIRES, verres achromatiques de Ramsden, en usage pour tous les télescopes achromatiques pour des objets terrestres, p. 222, IIe vol.

ŒIL humain, sa structure et ses fonctions, p. 116, II^e vol. — Sa force réfractrice, p. 119, II^e v. — Son insensibilité aux impressions directes d'une lumière faible, p. 133, II^e vol. — Durée des impressions de la lumière sur la rétine, p. 134, II^e v. — Cause d'une seule vision avec deux yeux, p. 135, I^e vol. — Son application à différentes distances, prouvée par diverses expériences, p. 136, II^e vol. — Explication de la longue vue et de la courte vue, p. 138, II^e vol.

ONDULATION (théorie de l'); ses grands progrès dans les temps modernes; s'accorde parfaitement avec la doctrine de l'interférence, p. 178, I^er vol.

OPACITÉ, p. 113, II^e vol.

OPTIQUES (figures), leur beauté, comment on les produit, p. 52, II^e vol.

OPTIQUE, physique, p. 81, I^er vol.

OXIDES métalliques, donnent un changement de couleur temporaire par la chaleur, p. 115, II^e v.

P.

PARABOLE, p. 73, I^er vol.

PARKER (M. de Fleet-Street), exécute la lentille la plus parfaite qu'on ait jamais exécutée p. 168, II^e vol.

PLAQUES minces (couleur des), 128, I^er vol. — D'air, d'eau et de verre, p. 134, I^er vol. — Épaisses, observées et décrites par sir Isaac Newton,

existe dans le spath d'Islande, p. 195, Ier vol. — (Observations générales sur la), p. 72, IIe vol.

RITTER ET SEEBECK (MM.), leurs expériences sur l'influence chimique du spectre, p. 113, Ier vol.

ROCHON (M.) p. 110, Ier vol.

S.

SCHEELE (le célèbre), p. 113, Ier vol.

SCHEINER (rapport originel d'un parélie vu par), p. 96, IIe, vol.

SCORESBY (le capitaine), en naviguant dans la mer du Groëland, observe plusieurs cas de réfraction extraordinaire, p. 79, IIe vol.

SEEBECK (M.), ses expériences sur la force calorique du spectre, et sur son influence chimique, p. 113, Ier vol. — Publie un rapport d'expériences analogues avec des cubes et cylindres de verre, p. 51, IIe vol.

SENNEBIER, p. 110, Ier vol.

SOLAIRE (spectre), se compose de trois spectres de longueurs égales, un rouge, un jaune et un bleu, p. 90, Ier vol.

SOMERVILLE (M.), son expérience; elle produit le magnétisme dans une aiguille qui en était privée. — Son expérience est répétée par M. Baumgartner, p. 115, Ier vol.

SPECTRE, ses propriétés, p. 105, Ier vol. — Existence de lignes fixes dedans, *idem*. — Sa force de clarté, p. 109, Ier vol. — Sa force de calorique,

p. 110, Ier vol. — Son influence chimique, p. 113, Ier vol.

SPECULA, planes, concaves et convexes, p. 6, Ier vol.

SPHÈRE (Règles pour trouver le foyer d'une), p. 46, Ier vol. — De verre, à une foule d'axes de double réfraction, p. 48, IIe vol.

SPHÉROIDES de verre à un axe de double réfraction, p. 49, IIe vol.

SUBSTANCES à double réfraction circulaire p. 208, Ier vol.

SULFURIQUE (acide), p. 97, Ier vol.

SURFACES. à facettes (production de la couleur par les) et de la communicabilité de ces couleurs, appliquées aux arts par John Barton, esq., p. 159.

T.

TABASHEER (force réfractrice du), p. 113, IIe vol.

TALBOT (M.) ses expériences sur les couleurs des plaques minces, 141, Ier vol. — Ses observations sur des couches de verre soufflé, p. 147 Ier, v.

TEINOSCOPE, p. 225, IIe vol.

TÉLESCOPE réflecteur, p. 62, Ier vol. — Réfracteur astronomique, p. 64, Ier vol. — Achromatique, une des plus belles inventions du dernier siècle, déclarée impossible par Newton, et construit peu après sa mort, par M. Hall, puis perfectionné par M. Dollond, p. 103, Ier vol. — Terrestre,

p. 204, IIe vol. — De Galilée, *idem*. — Réflecteur grégorien, p. 205, IIe vol. — Règle pour trouver sa force grossissante, p. 207, IIe vol. — Cassegrainien, p. 209, IIe vol. — De Newton, perfectionnement du grégorien, *idem*. — De sir William Herschel, p. 213, IIe vol. — De M. Ramage, p. 215, IIe vol, — Solaire achromatique, à une seule lentille, p. 230, IIe vol. — Imparfaitement achromatique; son amélioration, p. 232, IIe vol.

THÉNARD (M.), le premier qui observa la couleur noire produite sur le phosphore, p. 188, Ier v.

TOPAZE du Brésil, p. 63, IIe vol.

TRANSMISSION (propensions à la), p. 166, Ier vol.

V.

VERRES planes, p. 32, Ier vol. — A facettes, p. 176, IIe vol. — Réfraction de la lumière par les planes, p. 39, Ier vol — Lorgnette achromatique à une seule lentille, p. 226, IIe vol.

VILLÈLE (M. de Lyon) construit des instrumens ardens, p. 164, IIe vol.

VINCE (le docteur) ses observations sur la réfraction extraordinaire p. 78, IIe vol. — Et sur un cas très-remarquable de mirage, p. 80, IIe vol.

VISIBLE (direction); loi de; centre de, p. 127 IIe vol.

VISION (siége de la), p. 121, IIe v. — Droite d'une image renversée, sa cause, p. 126, IIe vol.

— Distincte (loi de), p. 128, IIe vol. — Oblique, p. 131, IIe vol.

W.

WOLLASTON (le docteur), ses découvertes sur les effets chimiques de la lumière, sur le gaïac, p. 114, Ier vol. — Invente les lunettes périscopiques, p. 167, IIe vol. — La camera lucida, p. 182, IIe vol. — Le double microscope, p. 193, IIe vol. — Il prouve la réfraction par des couches d'air de densités différentes, p. 81, IIe vol.

WUNSCH (M.), ses observations sur l'alcool et l'huile de térébenthine, p. 113, Ier vol.

Y.

YOUNG (le docteur) invente l'instrument nommé ériomètre, p. 148, Ier vol. — Explique les marées hautes et basses, p. 179, Ier vol. — Ses expériences sur l'interférence des rayons lumineux, 171, Ier vol.

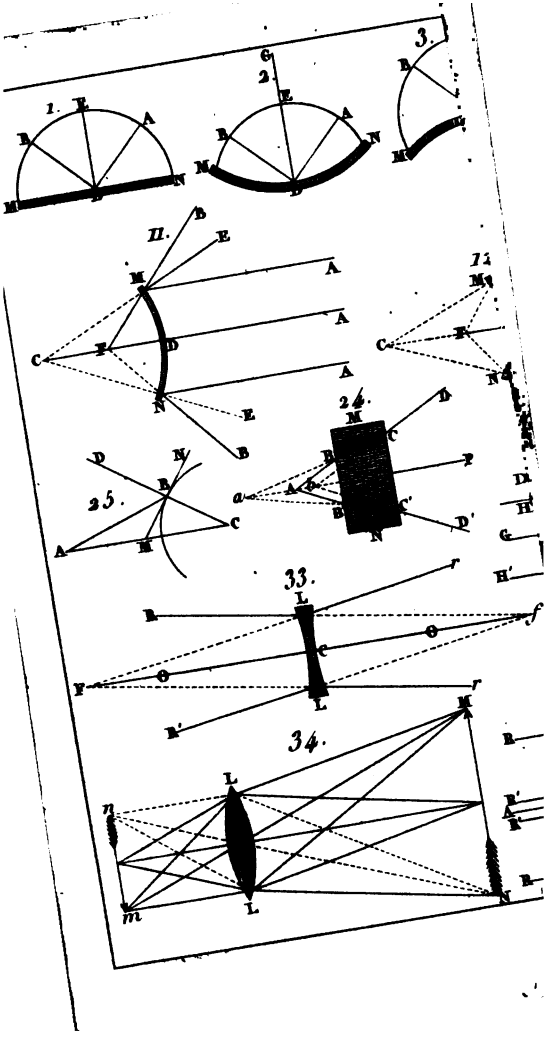
Z.

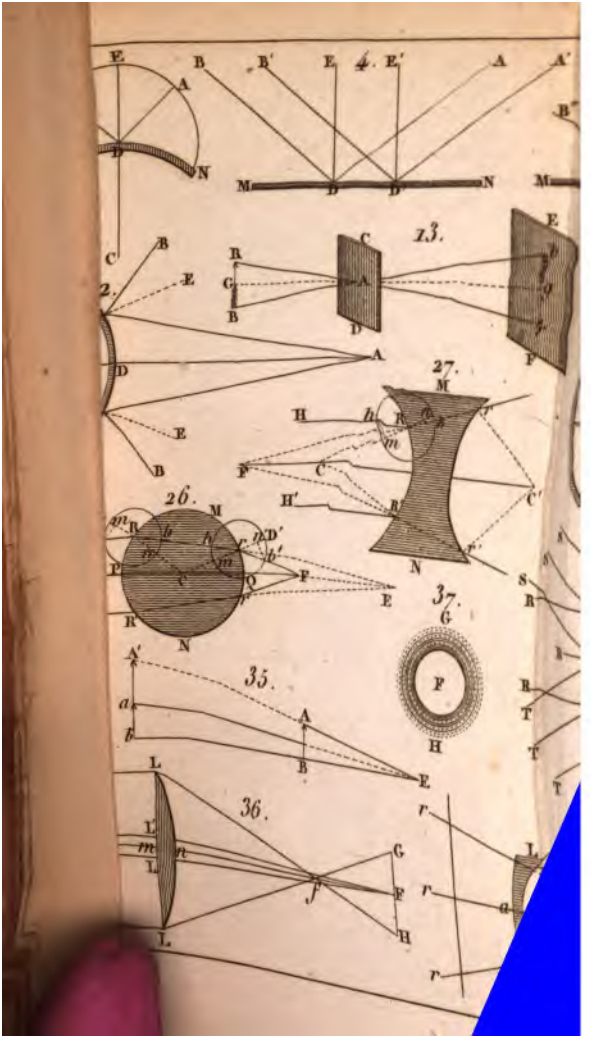
ZANTEDESCHI (M.), ses observations sur les aimans oxidés et non oxidés. — Répete les expériences de M. Christie sur les aiguilles vibrant à la lumière du soleil, p. 117, Ier vol.

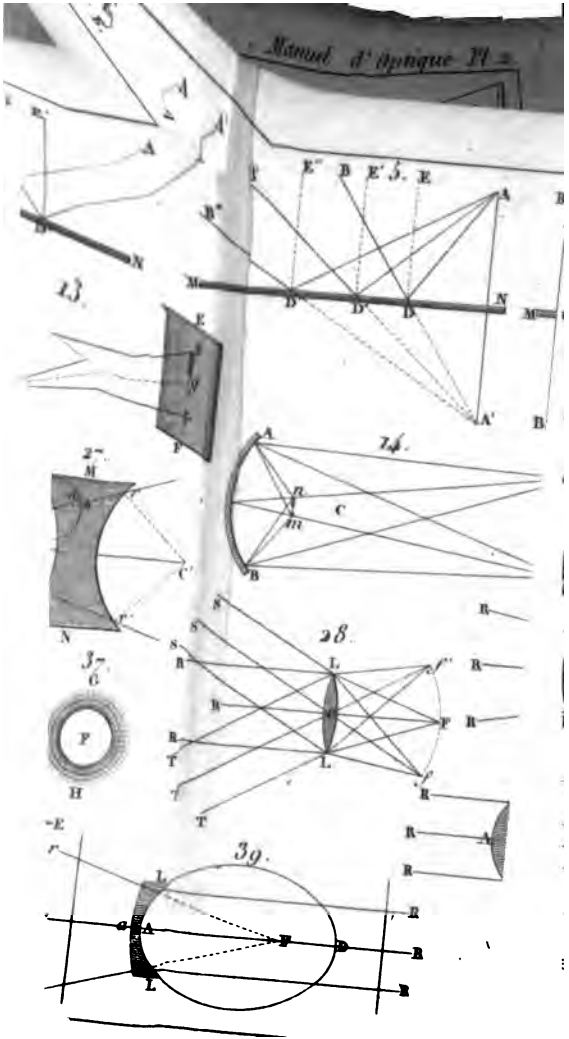
ERRATUM.

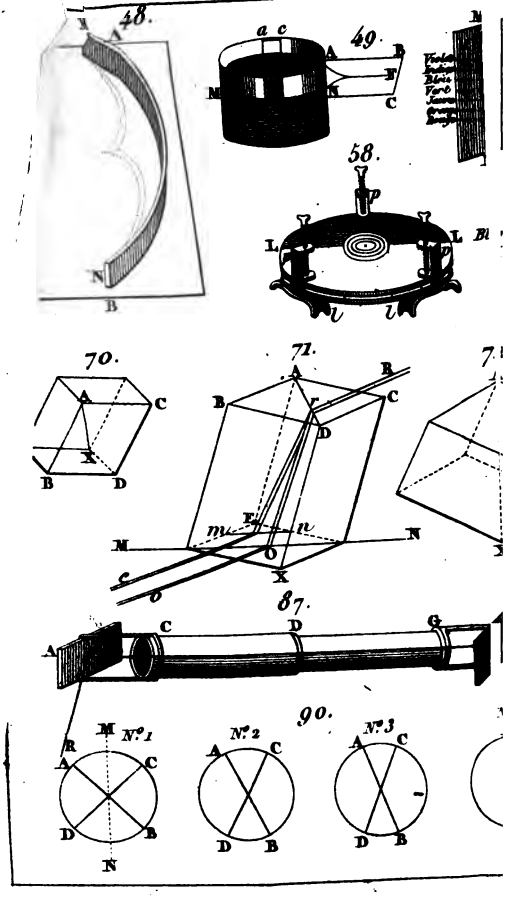
Page 272, article COMPRESSION, l'on renvoi par erreur au tome 12, c'est tome 2 qu'il faut lire.

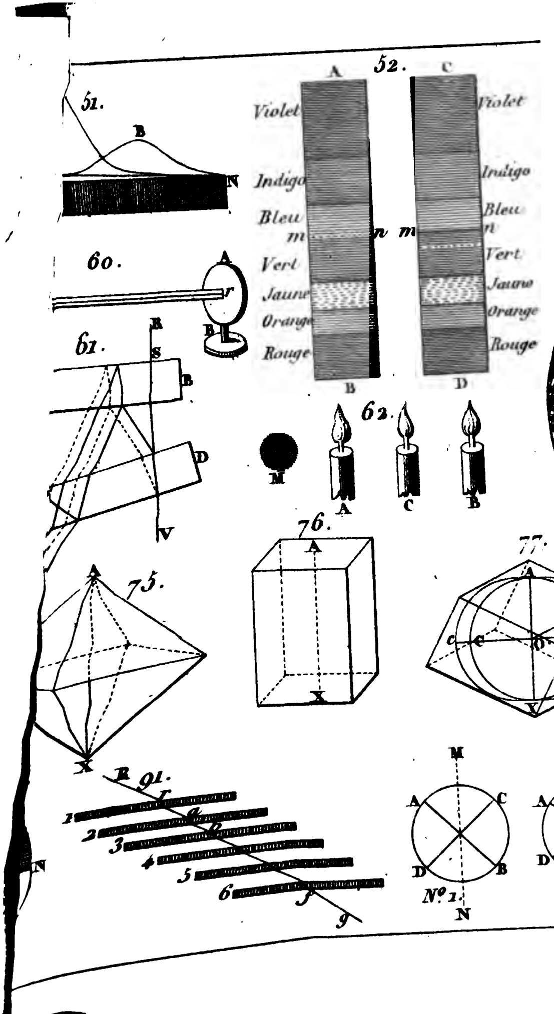
TROYES, IMPRIMERIE DE CARDON.

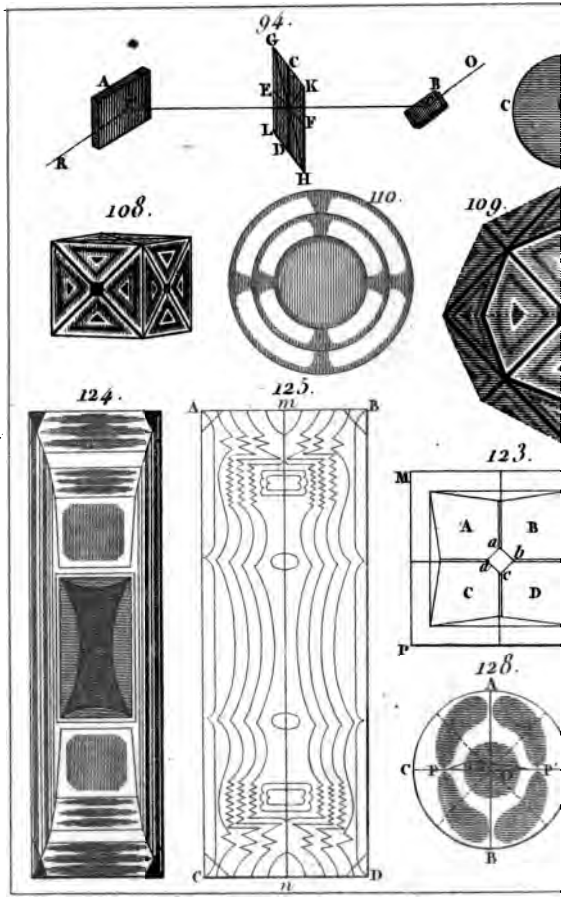

1.
2.
3.
11.
12.
24.
25.
33.
34.


4.
23.
27.
26.
37.
35.
36.

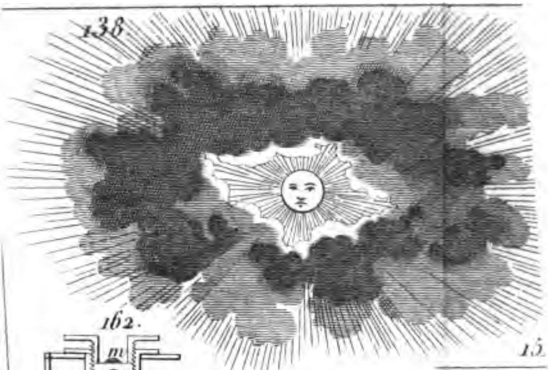

13.
14.
27.
28.
37.
39.


48.
M
A
N
B
49.
a c
A
B
M
N
C
58.
P
L
L
70.
A
C
X
B
D
71.
A
B
B
C
D
m
n
M
N
O
X
c
o
87.
A
C
D
G
90.
N°1
M
R
A
C
D
B
N
N°2
A
C
D
B
N°3
A
C
D
B

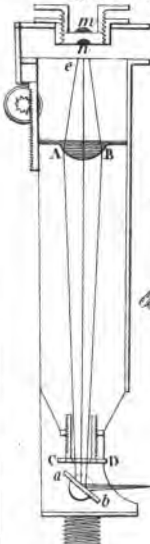

51.
B
N
52.
A
C
Violet
Indigo
Bleu
m
n
Vert
Jaune
Orange
Rouge
B
D
60.
A
r
B
61.
R
S
B
D
V
62.
M
A
C
B
75.
A
X
76.
A
X
77.
A
c
C
O
V
91.
R
r
a
b
f
g
1
2
3
4
5
6
N
M
A
C
D
B
Nº 1
N
A
D


94.
G
C
A
E
K
B
O
L
F
D
R
H
108.
110.
109.
124.
125.
A
m
B
123.
M
A
B
a
b
d
c
C
D
P
128.
A
C
P
P'
D
B
C
n
D

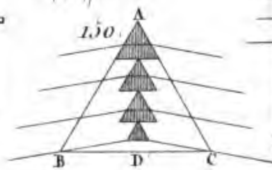
138.



162.

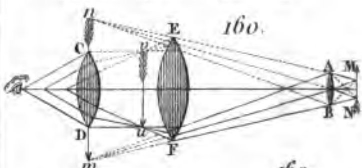


150.

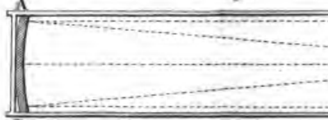


15.

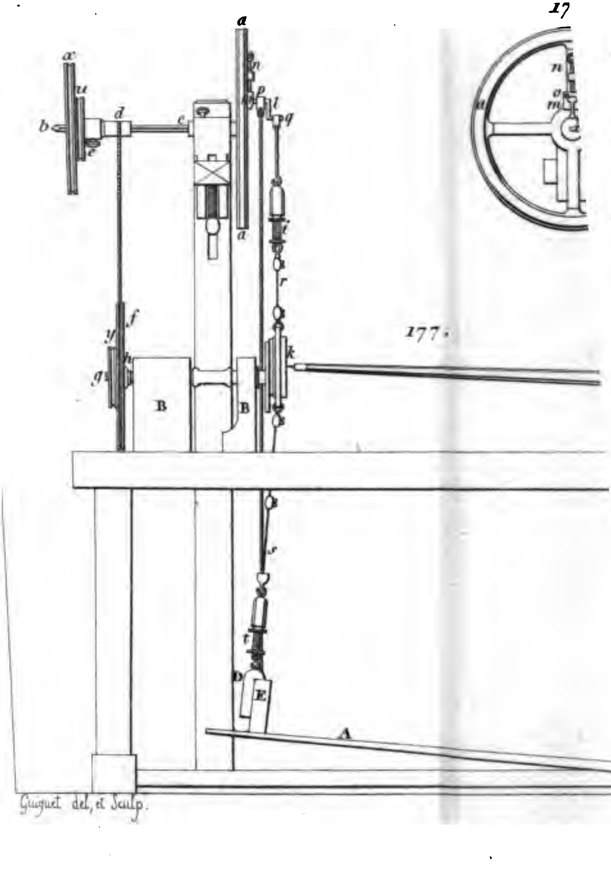
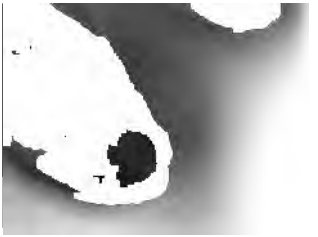
160.



169.



17



Guguet del, et Sculp.